

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara - Boumerdès

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



## ***Mémoire***

En vue de l'obtention du diplôme de **Master**

En Génie des procédés

Option : Ingénierie et Gestion de L'eau

## **THEME**

***Etude d'impacts environnemental de La réutilisation des eaux usées  
épurées de la station d'épuration ONA BOUMERDES en irrigation***

**Présenté par :** HAMMICHE Hanane  
BOUDEMIA Rania

**Encadré par :** M<sup>me</sup> BEN BOUABDALLAH Amina

**Mémoire soutenu le :** 01 /07/ 2025 devant le jury composé de :

Mr. HAMOUCHE AKSAS	MCA	UMBB	professor
Mme. AMROUCHE Dahbia	MCB	UMBB	Examinatrice
Mme. Ben Bouabdallah Amina	MCA	UMBB	Promotrice

**Année universitaire : 2024/2025**

## *Remerciements*

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant, pour nous avoir guidés, soutenus et donné la force d'aller jusqu'au bout de ce travail. Sans Sa volonté, rien de tout cela n'aurait été possible.

Nous adressons ensuite nos plus sincères remerciements à nos parents bien-aimés, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leurs encouragements constants et leurs prières, qui ont été pour nous une source inépuisable de motivation.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à Madame **TAYER Hassiba**, cheffe de laboratoire, pour son accueil, sa disponibilité et les moyens mis à notre disposition tout au long de ce travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont également à Madame **BENBOUABDALAH Amina**, notre encadrante, pour son accompagnement, sa patience, ses conseils avisés et son soutien constant, qui ont été essentiels à la réalisation de ce projet.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin, par un conseil, un mot d'encouragement ou un geste de soutien, et qui ont contribué, chacune à sa manière, à la réussite de ce travail.

## **Dédicace**

*Louange à Allah, par Sa grâce les bonnes choses s'accomplissent, et par  
Son soutien le succès se réalise.*

*À ma **chère mère**,*

*Source de tendresse et soutien du cœur, grâce à tes prières constantes et à ta  
patience exemplaire, j'ai pu atteindre ce que je suis aujourd'hui. Je te dois tout  
mon amour et ma gratitude.*

*À mon **cher père**,*

*Toi qui m'as appris la valeur de l'effort et de l'autonomie, je te remercie du  
fond du cœur pour tes sacrifices et ton soutien sans faille.*

*À mon **frère Ali**,*

*Merci pour ton soutien discret et tes paroles apaisantes qui m'ont toujours  
poussée à aller de l'avant.*

*À mes chères sœurs : **Nabila, Hiba et Salma**,*

*Grâce à votre affection, vos sourires et vos encouragements, le chemin a été  
plus lumineux et moins pénible.*

*À tous ceux qui m'ont soutenue, de près ou de loin,*

*Je dédie ce travail en témoignage de fidélité et de reconnaissance, en espérant  
qu'il soit une étape bénie sur le chemin de la réussite.*

2  
0  
2  
5



**Hanane HM**

## *Dédicace*

2  
0  
2  
5

*Je dédie ce mémoire à mes parents, pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien constant tout au long de mon parcours.*

*À ma mère, pour sa tendresse, sa force et ses prières silencieuses.*

*À mon père, pour ses encouragements et sa confiance inébranlable en moi.*

*À mes frères et ma sœur, qui ont toujours été à mes côtés avec leur affection et leur présence réconfortante.*

*Et enfin, à mes amies (**Celia et Lydia**) pour leur écoute, leur soutien moral et leurs sourires,*

*Qui m'ont aidée à traverser les moments les plus difficiles avec courage et espoir.*



*Rania*

## المخلص

محطة معالجة مياه الصرف الصحي جهة معنية بحماية البيئة قبل إعادة مياه الصرف الصحي إلى الطبيعة، يجب معالجتها وفقا لتركيبها ومصدرها لذا، يعد تحسين معالجتها أمرا بالغ الأهمية لضمان ربحية اقتصادية وبيئية جيدة.

في دراستنا لمحطة معالجة الصرف الصحي في بومرداس، قمنا بتحليل جودة المياه المعالجة وإمكانية إعادة استخدامها في الري الزراعي، مع إيلاء اهتمام خاص لبعض الملوثات الثابتة مثل الفينول، وهو مركب سام قد يكون ضارا بالبيئة والصحة، حتى بتركيزات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، الري، محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

## Résumé

La station d'épuration est un organe de protection de l'environnement. Avant que toute eau usée reprenne son chemin dans la nature, elle doit être traitée suivant sa composition et son origine. Il faut donc optimiser son épuration de sorte à avoir une bonne rentabilité économique et environnementale.

Dans notre étude portant sur la station de traitement de Boumerdes, nous avons analysé la qualité de l'eau épurée, e la possibilité de réutilisé les eaux usées dans le domaine de l'irrigation agricole, en nous intéressant particulièrement à certains polluants persistants comme le phénol, un composé toxique pouvant nuire à l'environnement et à la santé même à faible concentration.

Mot clé : eaux usée, irrigation, station d'épuration.

## Abstract

The wastewater treatment plant is an environmental protection agency. Before any wastewater can be returned to nature, it must be treated according to its composition and origin. It is therefore essential to optimize its treatment to ensure good economic and environmental profitability.

In our study of the Boumerdes treatment plant, we analyzed the quality of the treated water and the possibility of reusing wastewater for agricultural irrigation, paying particular attention to certain persistent pollutants such as phenol, a toxic compound that can be harmful to the environment and health even at low concentrations.

Keywords: wastewater, irrigation, wastewater treatment plant.

## Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	16
<b>Partie théorique</b>	
<b>Chapitre I : Généralités sur la pollution des eaux usées</b>	
Introduction	20
1. Définition des eaux usées	20
2. Origine des eaux entrant en station d'épuration	20
2.1. Les rejets domestiques	20
2.2. Les rejets industriels	21
2.3. Les eaux de ruissellement	21
2.4. Les eaux usées agricoles	22
3. Caractéristiques des eaux usées	22
3.1. Paramètres physico-chimiques	22
3.1.1. La température	23
3.1.2. Le potentiel d'hydrogène	23
3.1.3. La conductivité	23
3.1.4. La turbidité	23
3.1.5. Les matières en suspension	23
3.1.6. La demande chimique en oxygène	24
3.1.7. La demande biochimique en oxygène	24
3.1.8. Métaux lourds	24
3.2. Les paramètres microbiologiques	24
3.2.1. Paramètres bactériologiques	25
3.2.1.1. Coliformes totaux	25
3.2.1.2. Coliformes fécaux	26
3.2.1.3. Streptocoques fécaux	26
3.2.2. Salmonelles et virus	26
3.2.3. Parasites	26
4. Les nutriments	26
4.1. Les matières azotées	26

4.2. Les matières phosphatées	27
5. Composition moyenne des eaux usées	27
Conclusion	28
<b>Chapitre II : Généralités sur les différents procédés de traitement des eaux usées</b>	
Introduction	30
1. Procédés de traitement des eaux usées	30
1.1. Les prétraitements	30
1.1.1. Le dégrillage	30
1.1.2. Le dessablage	32
1.1.3. Le dégraissage - Le déshuilage	32
1.2. Traitements primaires : Traitements physico-chimiques	32
1.3. Traitements secondaires : Traitements biologiques	33
1.4. Traitement tertiaire	33
1.5. Traitement des boues	34
2. Traitement de la pollution minérale	34
2.1. Traitement de l'azote	34
2.1.1. L'ammonification	35
2.1.2. La nitrification	35
2.1.3. La dénitrification	35
3. Traitement du phosphore	36
4. Elimination du sodium	36
5. Le phénol	36
6. La désinfection	37
7. Utilisation des eaux usées et risque sanitaire	38
Conclusion	38
<b>CHAPITRE III : La réutilisation des eaux épurées en irrigation</b>	
Introduction	40
1. Définition de la réutilisation des eaux usées traitées	40
2. Historique de la réutilisation	41
3. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde	41
4. La réutilisation des eaux épurées en Algérie	42
5. Principe	43
6. La réutilisation des eaux épurées : une opportunité pour l'agriculture	43
7. L'objectif de la réutilisation des eaux épurées	43
8. Les premiers grands projets d'irrigation des eaux usées	44
9. Critères de qualité des eaux épurées pour l'irrigation	44

<b>10. Recommandations de l'OMS et de l'USEPA</b>	<b>45</b>
<b>10.1. Point de vue d'OMS</b>	<b>45</b>
<b>10.2. Point de vue de l'USEPA</b>	<b>46</b>
<b>11. Réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture en Algérie</b>	<b>46</b>
<b>11.1. Les normes du Journal Officiel Algérien</b>	<b>48</b>
<b>12. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie</b>	<b>48</b>
<b>12.1. Dispositions préliminaires</b>	<b>48</b>
<b>13. Systèmes d'irrigation</b>	<b>50</b>
<b>13.1. L'irrigation gravitaire</b>	<b>50</b>
<b>13.1.1. L'irrigation par planche</b>	<b>50</b>
<b>13.1.2. L'irrigation par bassin</b>	<b>50</b>
<b>13.1.3. Irrigation par rigole</b>	<b>51</b>
<b>13.1.4. Irrigation par siphon</b>	<b>52</b>
<b>13.1.5. Irrigation par rampe à vannettes</b>	<b>52</b>
<b>13.1.6. Irrigation par gaine souple</b>	<b>53</b>
<b>13.2. L'irrigation par aspersion</b>	<b>53</b>
<b>13.2.1. Les installations mobiles</b>	<b>54</b>
<b>13.2.2. Les installations semi-mobiles</b>	<b>54</b>
<b>13.2.3. Les installations permanentes</b>	<b>54</b>
<b>13.2.4. Les installations temporaires</b>	<b>54</b>
<b>13.2.5. Aspersion mécanisée</b>	<b>54</b>
<b>13.2.6. Les enrouleurs</b>	<b>55</b>
<b>13.2.7. L'irrigation localisée (goutte à goutte)</b>	<b>55</b>
<b>13.3. Contrôle des eaux usées épurées destinées à l'irrigation</b>	<b>55</b>
<b>13.3.1. Limites de concentration pour des métaux en eau usée traitée pour l'irrigation continue</b>	<b>56</b>
<b>14. Effets environnementaux d'utilisation des eaux usées traitées</b>	<b>57</b>
<b>14.1. Effets positifs</b>	<b>57</b>
<b>14.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement</b>	<b>58</b>
<b>14.3. Effets sur le sol</b>	<b>58</b>
<b>14.3.1. Présence d'eau dans les sols</b>	<b>58</b>
<b>14.3.2. Effets sur les eaux souterraines</b>	<b>58</b>
<b>14.3.3. Effet sur les eaux superficielles</b>	<b>58</b>
<b>14.4. Effet de l'irrigation par les EUT sur les plantes cultivées</b>	<b>59</b>
<b>14.5. Impact de l'irrigation par les EU sur la nappe phréatique</b>	<b>59</b>
<b>Conclusion</b>	<b>60</b>
<b>Partie pratique</b>	

<b>CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA STEP DE BOUMERDES</b>	
<b>Introduction</b>	<b>63</b>
<b>1. office national de l'assainissement</b>	<b>63</b>
<b>2. définition d'une station d'épuration (STEP)</b>	<b>63</b>
<b>3. système d'assainissement centre de l'unité de Boumerdes</b>	<b>64</b>
<b>3.1. Description et situation géographique</b>	<b>64</b>
<b>3.2. L'arrivée des eaux</b>	<b>64</b>
<b>3.3. Caractéristique technique et données se base du constructeur.</b>	<b>66</b>
<b>4.les différentes étapes de traitement</b>	<b>67</b>
<b>4.1 Traitement des eaux</b>	<b>67</b>
<b>4.1.1 Arrivée de l'eau</b>	<b>67</b>
<b>4.1.2 Prétraitement</b>	<b>68</b>
<b>4.1.3 Bassins d'aération</b>	<b>70</b>
<b>4.1.4 Clarification</b>	<b>70</b>
<b>4.1.5 Traitement final</b>	<b>71</b>
<b>4.2 Le traitement des boues</b>	<b>72</b>
<b>4.2.1 l' épaisseur</b>	<b>72</b>
<b>4.2.2 super-presse</b>	<b>73</b>
<b>Conclusion</b>	<b>74</b>
<b>CHAPITRE V : MATERIELS ET METHODES</b>	
<b>Introduction</b>	<b>76</b>
<b>I. Caractérisation de l'eau épurée de la STEP de Boumerdès</b>	<b>76</b>
<b>1. Analyses physico-chimique</b>	<b>76</b>
<b>1.1. Mesure électrométrique du pH</b>	<b>77</b>
<b>1.2. Température</b>	<b>77</b>
<b>1.3. Mesure de la conductivité électrique</b>	<b>77</b>
<b>1.4. Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>77</b>
<b>1.5. La demande biochimique en oxygène (DBO5)</b>	<b>77</b>
<b>1.6. Le rapport DCO/DBO5</b>	<b>78</b>
<b>1.7. Détermination de l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub>) : ISO 7150/1984 (F)</b>	<b>78</b>
<b>1.8. Détermination des nitrates (NO<sub>3</sub>) : Rodier, 2005</b>	<b>78</b>
<b>1.9. Détermination des nitrites (NO<sub>2</sub>) : ISO 6777</b>	<b>78</b>
<b>1.10. Détermination des ortho phosphates (PO<sub>4</sub>) et du phosphore total : ISO N° 6878</b>	<b>79</b>
<b>1.11. Détermination du Phosphore Total</b>	<b>79</b>
<b>2. les Points de prélèvement– Station d'épuration de Boumerdès</b>	<b>79</b>

<b>2.1. Point de prélèvement des eaux brutes</b>	<b>79</b>
<b>2.2. Points de prélèvement des Eaux épurées</b>	<b>80</b>
<b>2.3. Points de prélèvement des boues actives</b>	<b>81</b>
<b>2.4. Points de prélèvement des boues recirculées</b>	<b>82</b>
<b>2.5. Points de prélèvement de polymère</b>	<b>83</b>
<b>2.6. Points de prélèvement des boues déshydratée</b>	<b>84</b>
<b>Conclusion</b>	<b>85</b>
<b>CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
<b>Introduction</b>	<b>87</b>
<b>Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux</b>	<b>87</b>
➤ <b>Caractéristiques physico-chimiques des eaux</b>	<b>87</b>
➤ <b>Caractéristiques microbiologiques des eaux</b>	<b>101</b>
<b>Conclusion</b>	<b>102</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>103</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>LES ANNEXE</b>	

***La liste des tableaux***

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b> : Composition moyenne des eaux usées ( <b>Degremont, J. 1989</b> )	<b>27</b>
<b>Tableau III.1</b> : Réutilisation des eaux usées traité en agriculture en Algérie, ( <b>ONA, 2019</b> )	<b>47</b>
<b>Tableau III.2</b> : Les valeurs limite des paramètres de rejet dans le milieu récepteur ( <b>JORA,2012</b> )	<b>48</b>
<b>Tableau III.3</b> : limites de concentration des métaux en eau usée traitée pour l'irrigation continue ( <b>JORA 2012</b> )	<b>56</b>
<b>Tableau IV.1</b> : Fiche technique des Huit (08) stations de relevage de Boumerdes	<b>66</b>
<b>Tableau IV.2</b> : caractéristique technique de la STEP de Boumerdes ( <b>ONA,2024</b> )	<b>66</b>
<b>Tableau IV.3</b> : concentrations admissibles des paramètres de pollution ( <b>ONA,2024</b> )	<b>67</b>
<b>Tableau IV.4</b> : Caractéristiques générales SUPERPRESS	<b>74</b>
<b>Tableau IV.5</b> : Caractéristiques de super-press	<b>74</b>
<b>Tableau V.1</b> : Caractéristiques physico- chimiques de l'eau épurée	<b>76</b>
<b>Tableau V.2</b> : Biodégradabilité des eaux usées en fonction de K : ( <b>ROUABAH.N, 2008</b> )	<b>78</b>
<b>Tableau VI.1</b> : Les résultats des analyses de pH de l'eau brute et l'eau épurée	<b>87</b>
<b>Tableau VI.2</b> : les résultats des analyses de la température de l'eau brute et épuré	<b>88</b>
<b>Tableau VI.3</b> : les résultats des analyses de la conductivité électrique (CE) de l'eau brute et épuré	<b>89</b>
<b>Tableau VI.4</b> : les résultats des analyses de la DCO de l'eau brute et épuré	<b>90</b>
<b>Tableau VI.5</b> : les résultats des analyses de la DBO5 de l'eau brute et épuré	<b>91</b>
<b>Tableau VI.6</b> : variation de MES pour l'eau brute el l'eau épurée	<b>92</b>
<b>Tableau VI.7</b> : les résultats des analyses de la N-NH4 de l'eau brute et épuré	<b>93</b>
<b>Tableau VI.8</b> : les résultats des analyses de la N-NO <sub>2</sub> de l'eau brute et épuré	<b>94</b>
<b>Tableau VI.9</b> : les résultats des analyses de la N-NO <sub>3</sub> de l'eau brute et épuré	<b>95</b>
<b>Tableau VI.10</b> : les résultats des analyses de la P-PO <sub>4</sub> de l'eau brute et épuré	<b>96</b>
<b>Tableau VI.11</b> : les résultats des analyses de la N-NO <sub>2</sub> de l'eau brute et épuré	<b>97</b>
<b>Tableau VI.12</b> : les résultats des analyses de phénol de l'eau brute et épuré	<b>98</b>
<b>Tableau VI.13</b> : Résultats des analyses – arrêté interministériel du 8 safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation	<b>99</b>
<b>Tableau VI.14</b> : les analyses microbiologiques des eaux usées épurées	<b>101</b>

*La liste des figures*

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>Figure II.1</b> : Chaine de prétraitement (Dégrillage Dessablage-Déshuilage)	<b>30</b>
<b>Figure II.2</b> : Grille courbe	<b>31</b>
<b>Figure II.3</b> : Grille droite	<b>31</b>
<b>Figure II.4</b> : Dessableur-Dégraisseur	<b>32</b>
<b>Figure II.5</b> : Dessableur-Dégraisseur Combiné rectangulaire	<b>32</b>
<b>Figure II.6</b> : Modèle compact	<b>37</b>
<b>Figure II.7</b> : Modèle boules et bâtonnets	<b>37</b>
<b>Figure III.1</b> : Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUT ( <b>BOUTIN et al., 2009</b> )	<b>41</b>
<b>Figure III.2</b> : Évolution du nombre des STEP et stations de lagunage en Algérie (2000 2015) ( <b>KASBADJI, 2013</b> )	<b>42</b>
<b>Figure III.3</b> : Statistiques sur les eaux usées épurées en Algérie ( <b>BOUCHAALA et al., 2017</b> )	<b>43</b>
<b>Figure III.4</b> : Système d'irrigation par planche ( <b>Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., &amp; Heibloem, M. 1990</b> )	<b>50</b>
<b>Figure III.5</b> : Irrigation par bassins ( <b>Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., &amp; Heibloem, M. 1990</b> )	<b>51</b>
<b>Figure III.6</b> : système d'irrigation par rigole ( <b>Écosources</b> )	<b>51</b>
<b>Figure III.7</b> : système d'irrigation par siphon ( <b>Ogle, D. 2000</b> )	<b>51</b>
<b>Figure III.8</b> : Système d'irrigation par rampe a vannettes ( <b>BENZZINE, H</b> )	<b>52</b>
<b>Figure III.9</b> : système d'irrigation par gaine souple ( <b>BENZZINE, H</b> )	<b>53</b>
<b>Figure III.10</b> : système d'irrigation par aspersion ( <b>Ben Khalfallah, R. 2020</b> )	<b>54</b>
<b>Figure III.11</b> : Système d'irrigation localisée (goutte à goutte)	<b>55</b>
<b>Figure III.12</b> : Localisation des contrôles et des analyses ( <b>JORA, 2012</b> )	<b>60</b>
<b>Figure IV.1</b> : La STEP de BOUMERDES par un satellite	<b>64</b>
<b>Figure IV.2</b> : Schéma directeur d'assainissement de Boumerdes	<b>65</b>

<b>Figure IV.3:</b> Bassin d'orage de la STEP de BOUMERDES	<b>68</b>
<b>Figure IV.4 :</b> dégrilleur de la STEP de Boumerdes	<b>68</b>
<b>Figure IV.5 :</b> Dessableur-dégrilleur de la STEP de Boumerdes	<b>69</b>
<b>Figure IV.6 :</b> Bassin d'aération	<b>70</b>
<b>Figure IV.7 :</b> Clarificateurs de la STEP de Boumerdes	<b>71</b>
<b>Figure IV.8 :</b> Bassin aux chicanes	<b>71</b>
<b>Figure IV.9 :</b> Epaississeur de la STEP de Boumerdes	<b>73</b>
<b>Figure IV.10:</b> super-presse de la STEP de Boumerdes	<b>73</b>
<b>Figure IV.11 :</b> Bande a presse	<b>74</b>
<b>Figure V.1 :</b> Point de prélèvement des eaux brutes	<b>80</b>
<b>Figure V.2 :</b> Points de prélèvement des Eaux épurées	<b>81</b>
<b>Figure V.3 :</b> Points de prélèvement des boues actives	<b>82</b>
<b>Figure V.4 :</b> Points de prélèvement des boues recirculées	<b>83</b>
<b>Figure V.5:</b> Points de prélèvement de polymère	<b>83</b>
<b>Figure V.6 :</b> Points de prélèvement de Polymère Avant la bande presseuse	<b>84</b>
<b>Figure V.7 :</b> Points de prélèvement des boues déshydratée	<b>85</b>
<b>Figure VI.1:</b> variation de pH en fonction du temps	<b>87</b>
<b>Figure VI.2 :</b> variation de température en fonction du temps	<b>88</b>
<b>Figure VI.3 :</b> variation de conductivité électrique (CE) en fonction du temps	<b>89</b>
<b>Figure VI.4 :</b> variation de la DCO en fonction du temps	<b>90</b>
<b>Figure VI.5 :</b> variation de la DBO <sub>5</sub> en fonction du temps	<b>91</b>
<b>Figure VI.6 :</b> variation de MES en fonction du temps	<b>92</b>
<b>Figure VI.7 :</b> variation de N-NH <sub>4</sub> en fonction du temps	<b>93</b>
<b>Figure VI.8 :</b> variation de N-NO <sub>2</sub> en fonction du temps	<b>94</b>
<b>Figure VI.9 :</b> variation de N-NO <sub>3</sub> en fonction du temps	<b>95</b>
<b>Figure VI.10:</b> variation de P-PO <sub>4</sub> en fonction du temps	<b>96</b>
<b>Figure VI.11:</b> variation de PT en fonction du temps	<b>97</b>
<b>Figure VI.12:</b> variation de phénol en fonction du temps	<b>98</b>
<b>Figure VI.13:</b> variation des pointes de prélèvement de phénol dans la station de relevage et les collecteurs principaux	<b>100</b>

***La Liste des abréviations***

<b>ONA</b> : Office National de l'Assainissement
<b>STEP</b> : Station d'Épuration
<b>Eq / hab.</b> : Équivalent habitant
<b>FAO</b> : Food and Agriculture Organisation (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture)
<b>JORA</b> : Journal Officiel de la République Algérienne
<b>WHO (OMS)</b> : World Health Organizations (L'Organisation Mondiale de la Santé)
<b>EU</b> : Eau Usée
<b>REU</b> : Réutilisation des eaux usées
<b>REUE</b> : Réutilisation des Eaux Usées Épurées
<b>MES</b> : Matière En Suspension
<b>MO</b> : Matière Organique
<b>DCO</b> : Demande Chimique en Oxygène
<b>DBO5</b> : Demande Biochimique en Oxygène durant 5 jours
<b>NTK</b> : Azote Kjeldhal
<b>PT</b> : Phosphore Total
<b>T</b> : Température
<b>pH</b> : Potentiel d'hydrogène
<b>EP</b> : eau potable
<b>EE</b> : eau épurée
<b>K</b> : Indice de biodégradabilité
<b>MS</b> : matière sèche
<b>CE</b> : conductivité électrique
<b>MES</b> : Matières en Suspension
<b>NPP</b> : Nombre le Plus Probable
<b>UV</b> : Ultra-Violet (utilisé en désinfection des eaux)
<b>REUT</b> : Réutilisation des Eaux Usées Traitées
<b>USUPA</b> : United States Environmental Protection Agency (Agence Américaine de Protection de l'Environnement)
<b>EUT</b> : Eaux Usées Traitées

<b>SR</b> : Station de Relevage
<b>MVS</b> : Matières Volatiles en Suspension
<b>mg/L</b> : milligramme par litre
<b>g/L</b> : Gramme par litre
<b>%</b> : pourcentage.
<b>°C</b> : Degré Celsius.
<b>UFC</b> : Unité Formant Colonie (utilisé en microbiologie pour quantifier les bactéries)
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> : Azote sous forme ammoniacale (ion ammonium)
<b>NH<sub>4</sub></b> : Ion ammonium
<b>O<sub>2</sub></b> : Dioxygène
<b>H<sub>2</sub>O</b> : Eau
<b>PO<sub>4</sub></b> : (forme de phosphore)

## **Introduction Générale**

La population de l'Algérie a augmenté considérablement et le besoin en nourriture et en eau croît continuellement. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en augmentant simplement l'approvisionnement en eau et/ou en développant l'agriculture.

Aujourd'hui cette solution s'approche de ses limites naturelles. Dans un certain nombre de pays de cette région, la consommation réelle de l'eau s'approche rapidement des limites des ressources disponibles.

L'eau constitue une ressource naturelle vitale pour les activités humaines, en particulier dans les régions à climat aride ou semi-aride comme l'Algérie, où les besoins agricoles sont de plus en plus croissants. Face à la rareté de l'eau, la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) s'impose comme une solution durable et stratégique. Toutefois, cette pratique soulève de nombreuses préoccupations environnementales et sanitaires, en particulier lorsqu'il s'agit de la présence de micropolluants persistants tels que le phénol.

Les stations d'épuration, également connues sous le nom de STEP (Stations de Traitement des Eaux Polluées), sont des installations complexes qui nécessitent une gestion rigoureuse et un contrôle précis des différentes étapes du processus de traitement. Ce sont de véritables piliers dans la lutte contre la pollution des eaux. Le contrôle de l'eau d'entrée et de sortie de ces stations est particulièrement crucial, car il détermine la qualité de l'eau traitée et son impact potentiel sur l'environnement. Cas la pollution de l'eau est un problème sérieux qui peut avoir des conséquences graves sur la nature et la santé humaine. Il est donc important de bien traiter les eaux usées avant de les rejeter.

Le phénol, composé organique aromatique largement utilisé dans l'industrie (raffinage, plasturgie, pharmaceutique), est fréquemment détecté dans les effluents industriels et domestiques. Il se caractérise par sa toxicité élevée, sa faible biodégradabilité et son impact potentiel sur les écosystèmes, même à très faibles concentrations. Lorsqu'il n'est pas efficacement éliminé par les stations d'épuration, le phénol peut subsister dans les eaux épurées destinées à l'irrigation, compromettant ainsi la qualité des sols, des cultures et des ressources souterraines.

Ce mémoire se propose d'étudier les impacts environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées épurées de la station ONA Boumerdès en irrigation, avec un accent particulier sur la présence du phénol et ses risques potentiels. L'objectif est de contribuer à une meilleure compréhension des effets de ce polluant sur les sols agricoles et de proposer des mesures d'amélioration du traitement et du suivi de ces eaux.

On a commencé ce travail par une introduction générale où on a mis l'accent sur l'importance qu'on doit accorder au sujet de l'épuration des eaux usées ainsi qu'à la protection du milieu récepteur des effets désastreux que peut procurer la pollution de cette ressource

Le premier chapitre est intitulé sur « les généralités sur la pollution des eaux usées » qu'une vue d'ensemble sur la pollution des eaux usées, en abordent ses origines, ses composantes, ainsi que ses impacts sur l'environnement et la santé publique.

Le deuxième chapitre quant à lui a été totalement consacré à les généralités sur les différents procédés de traitement des eaux usées

La réutilisation des eaux épurées en irrigation du troisième chapitre.

Le quatrième chapitre a été consacré à « la présentation de la STEP de Boumerdes », aux critiques et aux interprétations des données recueillies.

Le cinquième chapitre « Matériels et méthodes » ce chapitre décrit le matériel utilisé et la méthodologie adoptée pour évaluer la qualité des eaux usées épurées issues de la STEP de Boumerdes en vue de leur réutilisation en irrigation.

Dans le dernier chapitre on trouvera ainsi les différents résultats avec leurs interprétations.

Enfin, une conclusion générale, dans laquelle on a fait valoir notre étude de recherche, tout en précisant la méthode suivie et l'objectif principal de cette étude.

# **Partie théorique**

# **Chapitre I :**

# **Généralités sur la**

# **pollution des eaux**

# **usées**

**Introduction**

L'eau est une ressource essentielle à la vie et au développement des sociétés humaines. Cependant, son usage domestique, industriel et agricole génère d'importants volumes d'eaux usées qui nécessitent un traitement avant leur rejet dans l'environnement. Les eaux usées sont définies comme des eaux ayant été altérées par des activités humaines, contenant divers polluants tels que des matières organiques, des nutriments (azote, phosphore), des métaux lourds et des microorganismes pathogènes. (Metcalf & Eddy, 2014)

**1. Définition des eaux usées**

Les eaux rejetées après leurs utilisations pour les activités domestiques, industrielles, artisanales ou agricoles et celles déversées à la suite d'évènements pluvieux constituent les eaux usées.

Celles-ci sont généralement classées en trois grandes catégories :

- Les eaux usées domestiques,
- Les eaux usées industrielles,
- Les eaux pluviales et de ruissellement.

Les eaux usées sont composées d'environ 99% d'eau et 1% de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes. Les conséquences de l'émission d'eaux usées non traitées ou maltraitées peuvent être classées en trois catégories :

- Effets nocifs pour la santé humaine,
- Impacts négatifs sur l'environnement,
- Répercussions néfastes sur les activités économiques.

Les eaux usées sont très souvent considérées plus comme une nuisance à éliminer plutôt qu'une ressource. Pourtant, elles constituent une source non négligeable de substances valorisables eau, énergie, nutriments, matières organiques et autres sous-produits. Elles représentent une composante importante du cycle de l'eau et doivent être gérées dans l'ensemble du cycle de gestion de l'eau à partir du prélèvement, du traitement, de la distribution, de la collecte et du traitement après utilisation de l'eau douce, jusqu'à sa réutilisation et son retour ultérieur à l'environnement où elles réapprovisionnent la source pour des prélèvements d'eau ultérieure. (ADEME, 1994)

**2. Origines des entrant en station d'épuration**

Les eaux usées en provenance des agglomérations sont de trois types : les eaux usées domestiques, les eaux de ruissellement, et les eaux industrielles (Guerée & Gomella, 1982).

**2.1. Les rejets domestiques**

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux types d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement :

- Les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes ;
- Les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable, et dépende trois facteurs :

- La composition originelle de l'eau potable, qui elle-même dépend de la composition de l'eau utilisée pour produire l'eau potable, de la qualité du traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature des canalisations, etc.
- Les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi infini de polluants tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc.
- Les utilisateurs eux-mêmes qui vont rejeter de la matière organique dans les égouts (urines et fèces) la matière organique est le polluant majoritaire des eaux domestiques. Ce type de rejets apporte également des micro-organismes et des contaminants divers (médicaments). **(Metcalf & Eddy, 2014)**

## **2.2. Les rejets industriels**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

L'article L.35-8 du Code de la santé publique française précise que le déversement de ces eaux dans les égouts publics n'est pas un droit et doit être préalablement autorisé par la collectivité. Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- Soient ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- Soient ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- Soit-ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables. **(Brissaud, F. 2007)**

## **2.3. Les eaux de ruissellement**

Les eaux de ruissellement sont les eaux de précipitation qui ne s'infiltreront pas dans le sol et s'écoulent à sa surface. Ce phénomène se produit lorsque la capacité d'absorption du sol est dépassée en raison de la nature du sol, de l'intensité des précipitations ou de l'urbanisation.

Le ruissellement est influencé par plusieurs facteurs :

- La perméabilité du sol
- La couverture végétale
- L'urbanisation
- La topographie.

Les eaux de ruissellement peuvent entraîner des polluants et causer la dégradation de la qualité de l'eau, ainsi que des risques d'inondation en milieu urbain. **(Chow, V. T. 1964)**

## **2.4. Les eaux usées agricoles**

Les eaux usées agricoles désignent l'ensemble des effluents liquides provenant des activités agricoles, incluant l'irrigation, l'élevage et la transformation agroalimentaire. Ces eaux peuvent contenir divers contaminants tels que :

- Nutriments (azote, phosphore) issus des engrais chimiques et organiques.
- Produits phytosanitaires comme les pesticides et herbicides.
- Matières organiques provenant des déchets d'élevage (lisier, purin).
- Sédiments dus à l'érosion des sols.
- Pathogènes issus des déjections animales.

Ces eaux peuvent avoir un impact significatif sur les milieux aquatiques et souterrains en provoquant l'eutrophisation, la pollution chimique et la dégradation des écosystèmes. Leur gestion implique des techniques de traitement comme la phytoépuration, les bassins de décantation et les zones tampons végétalisées. **(Molle, B., & Guérin, R. 2010)**

## **3. Caractéristiques des eaux usées**

Selon **TABET (2015)**, les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physicochimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir principales caractéristiques suivantes : **(TABET.M.2015)**

### **3.1. Paramètres physico-chimiques**

L'eau est une ressource essentielle à la vie, mais son utilisation domestique, industrielle et agricole génère des eaux usées qui nécessitent un traitement avant leur rejet dans l'environnement. L'évaluation de la qualité des eaux usées repose sur l'analyse de plusieurs paramètres physiques et chimiques qui permettent d'identifier leur niveau de pollution et adapter les traitements nécessaires.

Les paramètres physiques incluent des caractéristiques observables telles que la température, la couleur, la turbidité et la présence de matières en suspension, qui influencent la transparence et l'aspect général de l'eau. Quant aux paramètres chimiques, ils concernent la composition et les substances dissoutes, comme le pH, la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO), les nitrates, les phosphates et les métaux lourds, qui jouent un rôle clé dans la pollution de l'eau et son impact sur les écosystèmes aquatiques. L'étude de ces paramètres est essentielle pour surveiller la qualité des eaux usées, prévenir les risques environnementaux et assurer leur traitement efficace avant rejet ou réutilisation. **(Rodier, J. 2009)**

### **3.1.1. La température**

La température des eaux usées est un paramètre physique important qui influence les réactions biologiques et chimiques dans les stations d'épuration. Elle varie généralement entre 10 °C et 25 °C, mais peut atteindre des valeurs plus élevées en fonction des rejets industriels et climatiques. Une température trop élevée peut affecter l'oxygénation et le développement des micro-organismes épurateurs. **(Rodier, J. 2009)**

### **3.1.2 Le potentiel d'hydrogène**

Le pH des eaux usées est un paramètre chimique essentiel qui indique leur acidité ou alcalinité, avec une échelle de 0 à 14. Les eaux usées domestiques ont généralement un pH entre 6,5 et 8,5, mais les rejets industriels peuvent le rendre plus acide ou plus basique. Un déséquilibre du pH peut entraîner la corrosion des canalisations, perturber les microorganismes épurateurs et affecter la précipitation des métaux lourds et du phosphore. Les normes environnementales imposent une plage de 5,5 à 9 pour limiter les impacts sur l'environnement et les infrastructures d'assainissement. **(Rodier, J. 2009)**

### **3.1.3 La conductivité**

La conductivité est un indicateur de la concentration totale des sels dissous dans l'effluent. Parallèlement à la conductivité de l'eau potable, elle permet de déterminer rapidement si des apports importants, en particulier industriels, aussi d'eaux parasites de milieu marin ont lieu dans le réseau d'assainissement. Elle est exprimée en microsiemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). **(Bourrier et al., 2017)**

### **3.1.4. La turbidité**

La turbidimétrie permet une mesure en continu et en temps réel de la concentration en particules. C'est une mesure indirecte des matières en suspension (MES), et elle ne concerne pas leur quantité, mais son effet de diffusion sur un rayon lumineux. Elle est exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ou le FAU (Formazine Attenuation Unit). **(Bourrier et al., 2017)**

### **3.1.5. Les matières en suspension**

Les matières en suspension (MES) sont des particules solides, organiques ou minérales, non dissoutes dans les eaux usées. Elles proviennent de sources naturelles, comme l'érosion et les matières végétales, ainsi que de rejets anthropiques, notamment domestiques et industriels. Leur concentration varie selon l'origine des effluents : entre 200 et 700 mg/L pour les eaux usées domestiques brutes, 500 à plusieurs milliers de mg/L pour les effluents industriels, et moins de 35 mg/L après traitement, conformément aux normes européennes. Les MES augmentent la turbidité de l'eau et transportent des polluants tels que les métaux lourds et les hydrocarbures. Elles influencent également la Demande Biologique en Oxygène (DBO5) et la Demande Chimique en Oxygène (DCO), nécessitant des traitements adaptés. Leur élimination se fait principalement par décantation (réduction de 50 à 70 %), filtration (jusqu'à 95 %) et coagulation-floculation pour améliorer la sédimentation des particules fines. **(Rodier, J. 2009)**

**3.1.6. La demande chimique en oxygène**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelle que soit leur origine organique ou minérale. La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leur proportion respective, des possibilités de l'oxydation. (RODIER L. 2005) La DCO est la concentration, exprimée en mg/L, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme. **(REJSEK F., 2002)**

**3.1.7. La demande biochimique en oxygène**

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau usée pendant une certaine durée.

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, avec l'intervention des bactéries, les matières organiques de l'eau usée.

La DBO est un phénomène évolutif dans la mesure où elle permet d'étudier le comportement d'une charge organique (et plus généralement celui d'un échantillon), il est évident qu'il ne peut y avoir de détermination de D.B.O que lorsque les micro-organismes présents sont capables d'assimiler les matières organiques de l'échantillon. **(GAID A.,1984)**

La DBO a été standardisée en DBO5, mesurée au bout de 5 jours, considérée comme une période significative du processus global de biodégradation qui prend des semaines.

Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau, et il donne une indication indirecte de l'activité bactérienne. **(BELAHMADI, M. S.O.2004)**

**3.1.8. Métaux lourds**

Les métaux lourds dans les eaux usées sont des éléments métalliques de densité élevée ( $> 5 \text{ g/cm}^3$ ) et de forte toxicité, même à faibles concentrations. Ils comprennent notamment le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le chrome (Cr) et l'arsenic (As), issus des rejets industriels, agricoles et domestiques. En raison de leur bioaccumulation et de leur impact sur la santé humaine et les écosystèmes aquatiques, leur présence est strictement réglementée et nécessite des traitements spécifiques. **(Nriagu, J. O. 1996)**

**3.2. Les paramètres microbiologiques**

L'eau est un élément fondamental pour la vie, mais elle peut également être un vecteur de nombreuses maladies si elle est contaminée par des micro-organismes pathogènes. L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux urbaines, qu'il s'agisse d'eau potable, d'eaux usées ou d'eaux de surface, repose sur des paramètres spécifiques permettant d'identifier la présence de micro-organismes potentiellement dangereux pour la santé publique. Ces paramètres microbiologiques sont essentiels pour prévenir les risques sanitaires liés à la contamination de l'eau par des bactéries, des virus, des parasites et des champignons.

Parmi les principaux indicateurs microbiologiques utilisés pour l'évaluation de la qualité des

eaux urbaines, on retrouve les coliformes totaux, *Escherichia coli*, les entérocoques fécaux, qui témoignent d'une contamination d'origine fécale. Ces micro-organismes sont choisis en raison de leur présence fréquente dans les excréments humains et animaux, ainsi que de leur résistance variable aux traitements de désinfection. Leur détection permet d'estimer le niveau de pollution biologique de l'eau et d'anticiper les éventuels risques infectieux. L'analyse microbiologique des eaux urbaines repose sur des méthodes classiques de culture en milieu spécifique, mais également sur des techniques plus récentes comme la biologie moléculaire, qui offrent des résultats plus rapides et précis. Selon Bitton (2005), les avancées technologiques dans le domaine de la microbiologie de l'eau ont permis d'améliorer la surveillance et la gestion des ressources en eau, garantissant ainsi une meilleure protection de la santé publique. Ainsi, le contrôle des paramètres microbiologiques dans les eaux urbaines est un enjeu majeur pour la prévention des maladies hydriques et la préservation de la qualité des ressources en eau. **(Bitton, G. 2005)**

### **3.2.1. Paramètres bactériologiques**

Les paramètres bactériologiques des eaux usées désignent les indicateurs microbiologiques utilisés pour évaluer la charge bactérienne et détecter d'éventuelles contaminations d'origine fécale ou industrielle.

Ces paramètres sont essentiels pour surveiller la qualité des eaux usées avant et après traitement, afin de limiter les risques environnementaux et sanitaires liés à leur rejet dans le milieu naturel ou à leur réutilisation.

Les principaux paramètres incluent les coliformes totaux, *Escherichia coli*, les entérocoques fécaux, et *Clostridium perfringens*, qui sont des indicateurs de contamination fécale et de la présence potentielle d'agents pathogènes.

La surveillance de ces bactéries permet d'évaluer l'efficacité des stations d'épuration et de prévenir la transmission de maladies hydriques.

Selon Bitton (2005), l'analyse bactériologique des eaux usées repose sur des méthodes de culture sur milieux sélectifs, des techniques de filtration membranaire et des outils de biologie moléculaire permettant une détection plus rapide et précise des micro-organismes.

Ces analyses sont essentielles pour assurer une gestion sûre et durable des eaux usées. **(Bitton, G. 2005)**

#### **3.2.1.1. Coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont des bactéries aérobies et anaérobies facultatives de la famille des Enterobacteriaceae, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à 35-37°C. Ils incluent plusieurs genres comme *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter*. Présents dans l'environnement (sols, eaux de surface, végétaux en décomposition), ils ne signalent pas toujours une contamination fécale. Toutefois, leur détection dans les eaux usées et les eaux destinées à la consommation sert d'indicateur de pollution microbiologique et de risque pathogène. Leur analyse permet d'évaluer l'efficacité des traitements d'assainissement grâce à des méthodes microbiologiques standardisées comme la filtration sur membrane et le nombre le plus probable (NPP). **(Bitton, G. 2005)**

**3.2.1.2. Coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux sont des bactéries présentes dans les excréments humains et animaux, utilisées comme indicateurs de contamination fécale dans les eaux usées. Elles appartiennent à plusieurs genres bactériens et fermentent le lactose avec production d'acide et de gaz à 44-45 °C. Leur présence signale un risque de pollution microbiologique et de transmission de pathogènes. Leur détection repose sur des méthodes de culture et enzymatiques. Leur surveillance permet d'évaluer l'efficacité du traitement des eaux avant leur rejet, assurant ainsi la protection des ressources en eau et de la santé publique. Les normes exigent leur absence totale dans 100 ml d'eau potable, avec des seuils spécifiques pour les eaux usées traitées. **(WHO, 2006)**

**3.2.1.3. Streptocoques fécaux**

Les streptocoques fécaux, ou entérocoques, sont des bactéries présentes dans le tube digestif des humains et des animaux à sang chaud, utilisées comme indicateurs de contamination fécale. Ils appartiennent principalement au genre *Enterococcus* et résistent mieux aux conditions environnementales que les coliformes fécaux. Ce sont des bactéries Gram-positif, tolérant des températures élevées (jusqu'à 45 °C) et des milieux hostiles. Leur présence dans l'eau potable ou les eaux usées signale une pollution fécale et un risque sanitaire. Leur détection repose sur des méthodes de culture et des analyses moléculaires. Selon l'OMS, leur absence dans 100 ml d'eau potable est un critère de qualité sanitaire. **(WHO, 2006)**

**3.2.2. Salmonelles et virus**

Les salmonelles sont des bactéries pathogènes issues des matières fécales humaines ou animales, responsables de la majorité des toxi-infections alimentaires. Elles sont présentes dans l'eau de baignade et représentent un indicateur de pollution fécale. Le résultat d'analyse s'exprime en nombre de salmonelle par litre.

Les virus sont présents en bon nombre dans les effluents urbains (poliovirus, hépatite A, etc.), mais y sont rarement recherchés. Ces analyses sont un peu plus pratiquées dans les eaux de surfaces, mais apportent moins d'informations intéressantes par rapport à ceux des bactéries. Son résultat s'exprime aussi en (UFC)/100 ml. **(Satin & Selmi, 2006)**

**3.2.3. Parasites**

Les parasites tels que les formes enkystées des amibes ou les œufs d'helminthes sont rarement recherchés dans les eaux usées résiduaires. Les analyses sont parfois effectuées dans le domaine de traitement des boues dites hygiénisées. Certains protozoaires tels les *Giardias*. Responsables d'une parasitose intestinale, sont parfois recherchés dans le cas de la potabilisation de l'eau ou les loisirs nautiques. **(Bourrier et al., 2017)**

**4. Les nutriments****4.1. Les matières azotées**

Les matières azotées regroupent l'ensemble des substances organiques et minérales contenant des atomes d'azote. À l'entrée des stations d'épuration, l'azote se trouve principalement sous forme réduite : soit sous forme organique (N ORG), soit sous forme d'ions ammonium (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Les formes oxydées de l'azote, telles que les ions nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>),

apparaissent généralement au cours du traitement biologique aérobie. (Degremont, 1989 ; Rejsek, 2002)

Les formes ammoniacales ( $\text{NH}_4^+$ ), nitreuses ( $\text{NO}_2^-$ ) et nitriques ( $\text{NO}_3^-$ ) sont quantifiées par des analyses spécifiques, notamment par des méthodes colorimétriques, la chromatographie ionique ou l'analyse en flux continu. L'azote organique, quant à lui, ne peut être déterminé séparément ; il est mesuré conjointement avec l'azote ammoniacal sous la forme de l'**azote Kjeldahl total (NTK)**. La concentration totale en **azote global (NGL)** est ensuite calculée à partir des résultats de ces dosages, selon la formule suivante (Rejsek, 2002) :  $\text{NGL} = \text{NTK} + \text{N-NO}_2 + \text{N-NO}_3$

#### 4.2. Les matières phosphatées

Les matières phosphatées dans les eaux usées proviennent des détergents, engrais, excréta et rejets industriels. Elles existent sous forme de phosphates inorganiques, polyphosphates et phosphore organique (Cornel & Schaum, 2009). Leur accumulation favorise l'eutrophisation, causant la prolifération d'algues et la réduction de l'oxygène dans l'eau (FAO, 2010).

Leur traitement repose sur des procédés physiques, chimiques et biologiques.

#### 5. Composition moyenne des eaux usées

Voici un tableau détaillé de la **composition moyenne des eaux usées**, incluant les concentrations moyennes et leurs échelles de variation, basé sur une référence technique :

**Tableau I.1** : Composition moyenne des eaux usées (Degremont, J. 1989)

Paramètre	Unité	Concentration Moyenne	Échelle de Variation
PH	-	7,5	6,5 – 8,5
DCO (Demande Chimique en Oxygène)	mg O <sub>2</sub> /L	600	300 -1000
DBO <sub>5</sub> (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours)	mg O <sub>2</sub> /L	300	150 -500
MES (Matières en Suspension)	mg/L	400	200 -700
NTK (Azote Total Kjeldahl)	mg N/L	50	20 -85
Azote ammoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg N/L	30	10 -50
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg N/L	5	0 -10
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg N/L	0,5	0 -1
Phosphore total (P total)	mg P/L	8	4 -15
Conductivité	µs/cm	1200	500 -2000
Coliformes fécaux	UFC/100 ml	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>7</sup>
Escherichia coli	UFC/100 ml	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>

**CONCLUSION**

La pollution des eaux usées constitue un enjeu environnemental majeur, affectant les écosystèmes aquatiques, la biodiversité et la santé humaine. Issue des activités domestiques, industrielles et agricoles, cette pollution entraîne une dégradation de la qualité de l'eau en raison de la présence de matières organiques, de substances toxiques et de micro-organismes pathogènes. Pour limiter ces impacts, des solutions telles que le traitement des eaux usées, la réduction des rejets polluants à la source et la sensibilisation des populations sont essentielles. L'amélioration des technologies de dépollution et la mise en place de réglementations strictes sont également nécessaires pour garantir une gestion durable des ressources en eau. **(Rodier, J. 2009)**

# **Chapitre II : Généralités sur les différents procédés de traitement des eaux usées**

## Introduction

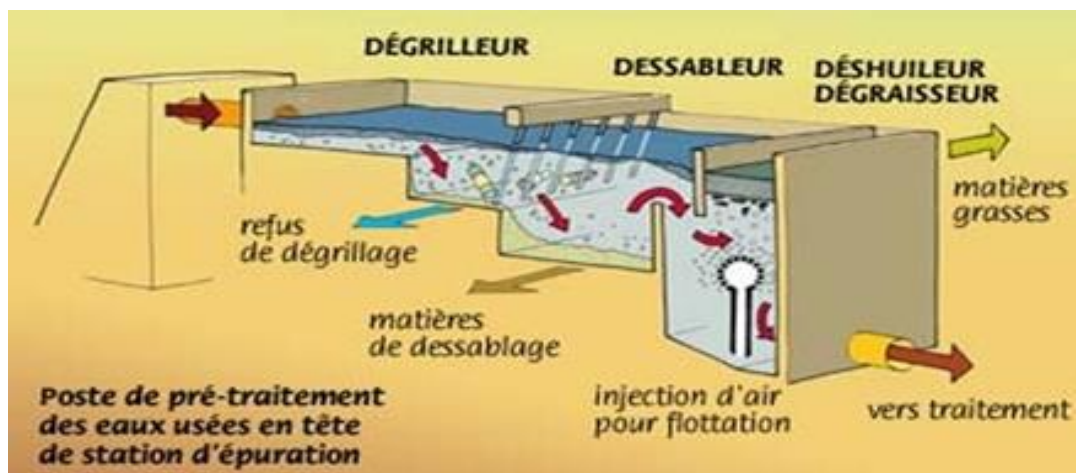
Le traitement des eaux usées joue un rôle fondamental dans la préservation des ressources en eau et la protection de l'environnement. Différents procédés sont utilisés pour éliminer les polluants avant le rejet ou la réutilisation de l'eau. Ces procédés se divisent en plusieurs étapes : le traitement primaire, qui permet d'éliminer les matières solides en suspension par des méthodes physiques ; le traitement secondaire, basé sur des procédés biologiques pour dégrader la matière organique ; et le traitement tertiaire, visant à éliminer les contaminants résiduels comme les nutriments et les micropolluants. Le choix et l'efficacité de ces traitements dépendent de la qualité des eaux usées et des normes environnementales en vigueur (**Henze et al., 2008**)

### 1. Procédés de traitement des eaux usées

Le rôle principal d'une station d'épuration des eaux usées est de réduire la pollution à un niveau conforme aux réglementations en vigueur, afin que le rejet des eaux traitées ne nuise pas au milieu récepteur. Pour répondre à ces exigences, plusieurs niveaux de traitement sont mis en place. Ces niveaux incluent les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Lorsque l'eau épurée doit être rejetée dans un environnement particulièrement sensible, un traitement tertiaire est également nécessaire pour assurer une qualité d'eau encore plus élevée.

#### 1.1. Les prétraitements

Le prétraitement des eaux usées est l'étape initiale du processus d'épuration visant à éliminer les matières grossières, les particules en suspension et les substances flottantes afin de prévenir l'encrassement des équipements et d'améliorer l'efficacité des traitements biologiques et physico-chimiques suivants : (**Metcalf & Eddy, 2013**)



**Figure II.1** : Chaîne de prétraitement (Dégrillage Dessablage-Déshuilage)

##### 1.1.1. Le dégrillage

Il s'agit de séparer des eaux brutes, les matières les plus volumineuses, en faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent, afin d'éviter les risques de colmatage. Il est donc indispensable en tête

de la station d'épuration. Selon l'efficacité désirée, il est possible de distinguer entre le pré-dégrillage (espacement des barreaux 30-100mm), le dégrillage moyen (espacement des barreaux 10-30mm) et dégrillage fin (espacement des barreaux 3-10mm). (GOMELLA, C. & GUERREE, H., 1982)

Techniquement, de nombreux types de grilles existent :

- Grilles manuelles : Composées de barreaux le plus souvent inclinés à 60 - 80° l'horizontal, elles sont cependant réservées aux très petites stations.
- Grilles mécaniques : Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter colmatage rapide des canalisations. Les grilles mécaniques se classent en deux catégories :
  - ✓ Les grilles droites ;
  - ✓ Les grille cou



**Figure II.2 :** Grille courbe



**Figure II.3 :** Grille droite

### 1.1.2. Le dessablage

Le dessablage est une opération du prétraitement des eaux usées qui consiste à éliminer les particules minérales denses, telles que le sable, le gravier, les éclats de verre et les coquilles, afin de protéger les équipements et d'améliorer l'efficacité des traitements ultérieurs. Cette séparation se fait généralement par gravité dans des bassins de dessablage, où la vitesse d'écoulement est contrôlée pour permettre aux particules lourdes de se déposer au fond tandis que les matières organiques restent en suspension. Il existe plusieurs types de dessableurs, notamment les dessableurs à flux horizontal, vortex et aérés. Le dessablage est essentiel pour éviter l'encrassement des conduites, la réduction de l'efficacité des pompes et l'abrasion des équipements de traitement des boues et des eaux. (Metcalf & Eddy, 2013)



**Figure II.4** : Dessableur-Dégraisseur



**Figure II.5** : Dessableur-Dégraisseur  
Combiné rectangulaire

### 1.1.2. Le dégraissage - Le déshuilage

L'opération dégraissage-déshuilage consiste à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graissages par flottation. Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales). (L ADJEL, F.2006)

## 1.2. Traitements primaires : Traitements physico-chimiques

La première phase du traitement des eaux usées est un processus de séparation grossière visant à éliminer les matières solides volumineuses susceptibles d'endommager les infrastructures de traitement. Cette étape, connue sous le nom de prétraitement, permet d'extraire environ 35 % des polluants présents dans l'eau avant les traitements suivants. (Metcalf & Eddy, 2013)

Dans un premier temps, l'eau usée traverse des grilles afin de retenir les déchets solides de grande taille. Ensuite, la vitesse d'écoulement de l'eau est ralentie pour faciliter la séparation des particules selon leur densité : les particules plus lourdes, telles que les sables et les boues primaires, se déposent au fond du bassin par sédimentation, tandis que les matières plus légères, comme les graisses et les huiles, remontent à la surface et sont éliminées par flottation.

Cependant, malgré ce traitement préliminaire, l'eau épurée contient encore des substances dissoutes telles que les composés azotés et phosphatés, des agents actifs ainsi que des particules fines, nécessitant des traitements complémentaires pour assurer une épuration complète.

### 1.3. Traitements secondaires : Traitements biologiques

Le **traitement secondaire** des eaux usées repose principalement sur des procédés **biologiques**, visant à éliminer la pollution organique dissoute grâce à l'action de micro-organismes. Ces traitements permettent de dégrader la matière organique biodégradable (exprimée en  $DBO_5$ ) et de réduire les nutriments présents dans l'eau. On distingue généralement deux grandes catégories de traitements biologiques : **les procédés à culture libre**, comme les boues activées, où les bactéries sont en suspension dans l'eau, et **les procédés à culture fixée**, où les micro-organismes se développent sur un support solide (filtres percolateurs, biofilms).

Le principe repose sur une oxydation biologique, souvent réalisée en **présence d'oxygène** (traitement aérobie), favorisant ainsi la croissance des bactéries épuratrices. Ces dernières consomment la matière organique et forment des floccs qui sont ensuite séparés de l'eau traitée par décantation. Dans certains cas, des procédés **anaérobies** sont utilisés, notamment pour les effluents fortement chargés en matières organiques, permettant également la production de **biogaz**.

Le traitement secondaire est une étape clé pour assurer une qualité suffisante des eaux avant leur rejet dans le milieu naturel ou avant un traitement tertiaire complémentaire si nécessaire. (Henze., et Al 2008)

### 1.4. Traitement tertiaire

À l'issue des procédés d'épuration, les eaux usées peuvent être rejetées dans le milieu naturel ou subir des traitements supplémentaires pour leur réutilisation, notamment pour éliminer les micro-organismes potentiellement dangereux. Plusieurs techniques de désinfection existent pour améliorer la qualité bactériologique des rejets et protéger les milieux sensibles. Les procédés physiques incluent l'utilisation du rayonnement ultraviolet (UV) à 254 nm, qui détruit les micro-organismes sans laisser de sous-produits nocifs, bien que son efficacité dépende de la qualité de l'eau traitée. La filtration, réalisée sur sable ou sur membrane, permet de retenir les micro-organismes après une épuration secondaire préalable. (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 1995)

Les procédés chimiques, principalement la chloration et l'ozonation, reposent sur l'oxydation. La chloration, bien que facile à mettre en place et efficace même à faible dose, présente des risques pour la faune et la flore aquatique en raison du chlore résiduel et des sous-produits organochlorés, parfois cancérigènes. Une étape de décoloration au bioxyde de soufre peut être ajoutée pour limiter ces effets, mais elle entraîne une diminution de l'oxygène dissous et augmente les coûts. L'ozonation, quant à elle, est une méthode plus puissante et respectueuse de l'environnement, permettant d'éliminer efficacement les pathogènes sans recours à des produits chimiques, nécessitant seulement de l'air et de l'électricité pour produire l'ozone. Après ce traitement tertiaire, l'eau peut être rejetée dans la nature ou réutilisée. (Bourbon et al., 2015)

### 1.5. Traitement des boues

Le traitement des boues issues des différentes étapes d'épuration des eaux usées vise principalement à réduire leur teneur en eau, qui peut atteindre **95 à 99 %**, ainsi qu'à diminuer leur charge polluante et fermentescible en vue de leur valorisation ou élimination finale. La première étape de ce processus est l'**épaississement**, un procédé simple et peu énergivore permettant de réduire le volume des boues brutes, atteignant un taux de siccité pouvant aller jusqu'à **10 % de matière sèche**. L'eau extraite au cours de cette phase est systématiquement recyclée en tête de station. Ensuite, les boues subissent une **stabilisation et une hygiénisation**, souvent réalisées simultanément, afin de minimiser les nuisances biologiques et les risques sanitaires. La stabilisation permet de réduire l'activité biologique des boues, limitant ainsi leur fermentation, les émissions de méthane et la demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), tandis que l'hygiénisation vise à éliminer les agents pathogènes, notamment pour une éventuelle réutilisation en épandage agricole ou en revégétalisation. Après ces étapes, les boues peuvent être **déshydratées** afin de réduire encore leur volume et atteindre un taux de siccité de **20 à 30 %**, facilitant ainsi leur stockage, leur transport et leur valorisation, notamment en agriculture. Enfin, l'étape du **séchage** intervient pour éliminer l'eau résiduelle des boues, soit par séchage thermique après déshydratation, soit par des techniques comme le lit de séchage qui ne nécessitent pas de prétraitement particulier. Ces différentes opérations permettent d'optimiser la gestion des boues tout en limitant leur impact environnemental. (**Série Technique DT 52, 2012**)

## 2. Traitement de la pollution minérale

Les eaux usées des unités productrices de boissons renferment surtout de la pollution organique mais aussi de l'azote, du phosphore et d'autres minéraux provenant des opérations de lavages et de rinçage des cuves, des machines et des espaces de production. L'azote et le phosphore doivent être éliminés dans les eaux usées avant leur rejet dans la nature car ils peuvent être responsables du phénomène d'eutrophisation des milieux récepteurs. Cette pathologie environnementale est la cause du comblement des plans d'eau et entraîne la réduction du pouvoir de rétention. En outre, les matières organiques azotées peuvent aussi entraîner une demande élevée en oxygène dans les cours d'eau, ce qui contribue à l'appauvrissement de l'oxygène dissous dans le milieu récepteur causant une perturbation du développement de la faune aquatique. (**Templeton and Butler, 2011**)

Le sodium pour sa part tire son origine de l'utilisation de produits de désinfection tels que la soude caustique et l'hypochlorite de sodium. Ces produits sont très disponibles, facile d'utilisation et bon marché. La présence du sodium dans les eaux rejetées peut causer des altérations dans la structure du sol lors de la réutilisation des eaux usées ou des eaux usées traitées pour l'irrigation causant une diminution de la capacité de rétention de l'eau. (**Sangaré et al., 2018 ; Sou/Dakouré et al., 2013**)

## 2.1. Traitement de l'azote

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification- dénitrification. Pour satisfaire les normes de rejet en zones sensibles, des procédés physiques et physico-chimiques complémentaires permettent l'élimination de l'azote (électrodialyse, résines échangeuses d'ions), mais ces traitements ne sont pas applicables en traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de leurs coûts prohibitifs. Les procédés biologiques sont les plus adaptés au traitement de l'azote des eaux résiduaires en raison de leur facilité de mise en œuvre et de leur coût modéré. (ATTAB 2011)

L'azote peut être éliminé des eaux par différents procédés comme :

### 2.1.1. L'ammonification

La conversion de l'ammoniac est un processus dans lequel l'azote organique est converti en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) grâce aux bactéries par hydro transformation. Ce processus se produit dans les environnements oxydants (tels que les stations d'épuration) et les environnements non oxydants (tels que les égouts). Ces réactions sont très rapides et la concentration en azote organique diminue en quelques heures dans le réseau.

Dans les stations d'épuration, ces transformations continuent, où l'azote organique dissous est capturé dans les floccs et la fraction dissoute est transformée. À la fin du processus, les concentrations résiduelles sont très faibles (de 1 à 2 mg/l), particulièrement lorsque la charge biologique est faible. L'azote organique restant inclut les particules fines et la fraction soluble réfractaire, qui est difficile à ammonifier ou se décompose très lentement dans l'environnement naturel. (Deronzier, G., & Duchène, P. 1997)

### 2.1.2. La nitrification

La nitrification est un processus crucial dans l'épuration biologique, pour retirer l'azote des eaux usées. L'azote est présent dans les eaux usées sous forme généralement Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ou attaché aux composés organiques.

L'azote organique est réduit en ammonium lorsque ces composés sont épuisés. La transformation de l'ammonium en nitrate (nitrification) donne notamment 2 espèces bactériennes :

Nitrosomonas : est la première étape : conversion de l'ammonium en nitrites ( $\text{NO}_2$ )

Nitrobacter : est la deuxième étape : conversion of nitrites to nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) L'équation complète de conversion de l'ammonium en nitrate est la suivante :  
 $\text{NH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{NO}_3 + 2\text{H} + \text{H}_2\text{O}$ . (PCA Water)

### 2.1.3 La dénitrification

Dans une station biologique de traitement d'eau, la dénitrification est généralement l'étape suivant la nitrification. Les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2$ ) sont transformés en azote ( $\text{N}_2$ ). L'azote gazeux s'échappe de l'eau dans l'air.

Il y a 78% d'azote dans l'air et 21% d'oxygène, l'azote ne pollue absolument pas l'air. Un grand nombre de bactéries est capable d'effectuer la dénitrification. En l'absence d'oxygène dans l'eau, ces bactéries utilisent le nitrate et le nitrite comme source d'oxygène. **(PCA Water)**

### 3. Traitement du phosphore

D'après le rapport de l'**IFC (2007)**, la concentration en phosphate dans les effluents de brasseries, varie entre 10 et 50 mg/L, dont 70% sont sous la forme soluble, et le reste sous forme d'ortho phosphate ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). De façon conventionnelle, les processus de traitement primaire et secondaire éliminent environ 10 à 30% de phosphore dans les eaux usées, ce qui n'est pas suffisant au regard de la réglementation environnementale qui recommande une concentration en phosphore total de 50 mg/L dans les eaux usées de brasseries rejetées. **Templeton and Butler (2011)** stipulent que le processus biologique d'élimination du phosphore est basé sur l'exposition de la biomasse dans les conditions alternant anaérobie et aérobie. Il en résulte donc une absorption élevée dans les cellules. Le processus est communément appelé « absorption cellulaire de luxe ». Cette alternance de conditions améliore l'élimination du phosphore par des microorganismes Spéciaux appelés organismes accumulateurs de phosphore (OAP), lesquels sont capables d'absorber 7 à 8 % de phosphore dans leur masse cellulaire, alors que les autres microorganismes ont une capacité d'absorption de 1 à 2 %. Les cellules peuvent être éliminées par la sédimentation des boues riches en phosphore, ou le phosphore peut être libéré des cellules et précipiter de façon chimique avec du sulfate d'aluminium, du chlorure de fer ou de la chaux.

### 4. Elimination du sodium

L'élimination du sodium présent dans les eaux usées à la station d'épuration de Boumerdès constitue un enjeu environnemental de grande importance. La station se sert du processus des boues activées pour le traitement de l'eau, ce qui est efficace pour l'élimination de la matière organique, mais ne suffit pas à diminuer le taux de sodium. Pour perfectionner cette procédure, on pourrait considérer l'usage de méthodes avancées comme l'osmose inverse ou l'échange d'ions. Cependant, avant leur mise en pratique, ces méthodes requièrent une analyse de viabilité technique et financière approfondie pour garantir leur efficacité et leur concordance avec la station. **(Dékhil, S. W. 2012)**

### 5. Le phénol

Le phénol, appelé aussi hydroxybenzène, acide phénique, ou encore acide carbolique, est composé d'un cycle aromatique benzénique (hydrocarbure aromatique) et d'une fonction hydroxyle. C'est la plus simple molécule de la famille des phénols. Le phénol est aussi un éinol (dérivé alcoolique possédant un fonction alcène). Il est la forme tautomère de la cyclohexa-2,4-diènone. Mais contrairement à la majorité des éinols, il est la forme la plus stable comparé à sa cétone tautomère, stabilité due en majorité à la présence d'un cycle aromatique non présent dans la cétone correspondante. **(Phénol (molécule) – Wikipédia).**

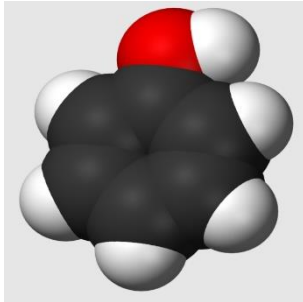


Figure II.6 : Modèle compact

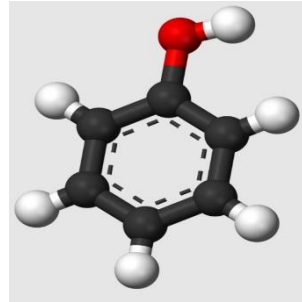


Figure II.7 : Modèle boules et bâtonnets

Le phénol est une substance organique aromatique commune dans les rejets industriels, notamment ceux provenant des raffineries de pétrole, du secteur pétrochimique, de la production de plastiques, résines, teintures, produits pharmaceutiques et pesticides. Cela peut aussi être produit par la décomposition de substances organiques dans les eaux résiduaires domestiques. Ce contaminant génère une préoccupation particulière en raison de sa forte toxicité, même à de faibles concentrations. Cela perturbe les processus biologiques des animaux aquatiques, altère le goût et l'arôme de l'eau potable et représente une menace pour la santé humaine. (Tadjer, A. 2022)

## 6. La désinfection

Un abaissement de la teneur des germes est parfois exigé pour les rejets dans zones spécifiques (zones de baignade, zone de conchylicoles) ou dans le cadre d'une réutilisation, il sera réalisé par :

### 6.1. Les traitements chimiques de désinfection

#### ➤ Le chlore

Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules organiques et des substances réduites, ainsi qu'avec les micro-organismes. Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont le chlore gazeux ( $\text{Cl}_2$ ), l'hypochlorite de sodium ( $\text{NaClO}$ ), couramment appelé "eau de javel", l'hypochlorite de calcium ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ), le chlorite de sodium ( $\text{NaClO}_2$ ) et le chlore de chaux ( $\text{CaCl}_2 \cdot \text{OCl}_2$ ) (ATTAB, 2011).

#### ➤ L'ozone

L'ozone est également un oxydant puissant. La désinfection par ozone est couramment utilisée aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient. Elle permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. L'ozone est d'ailleurs le seul procédé véritablement efficace contre les virus. Les tests de toxicité réalisés sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas révélé de toxicité notable. (METAHRI, 2012)

### 6.2. Le traitement physique de désinfection par les rayons ultraviolets

Ce procédé consiste à utiliser des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement attaque directement les micro-

organismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage ni manipulation de substances chimiques susceptibles de modifier les caractéristiques chimiques de l'effluent. (ATTAB, 2011)

### **7. Utilisation des eaux usées et risque sanitaire**

Cette ressource qui constitue une valeur hydrique et un potentiel de matières fertilisantes important peut également être une source de pollution. Son contenu en éléments traces et en microorganismes pathogènes et sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour l'environnement. Une connaissance scientifique des effets directs et indirects des traitements et des suivis épidémiologiques est indispensable. (AFD, 2011)

Le risque sanitaire lié à l'utilisation d'eaux épurées dépend à la fois des concentrations en contaminants dans ces eaux, c'est à dire du niveau de traitement supplémentaire appliqué, et du degré d'exposition des populations. Ce degré d'exposition dépend de l'usage qui sera fait de l'eau. Celui-ci pouvant être agricole, industriel ou urbain. (S. BAUMONT et al., 2004)

### **Conclusion**

Afin de préserver les ressources en eau, le patrimoine naturel et la qualité de vie, il est nécessaire d'éliminer tous les contaminants présents dans les eaux usées afin de réduire au maximum la pollution des eaux usées. Par conséquent, l'eau doit être traitée afin d'assurer sa qualité physique, chimique et microbiologique par rapport à son utilisation finale, telle que : l'irrigation des espaces verts, la recharge artificielle des aquifères et de l'approvisionnement en eau potable, le nettoyage des toilettes et des approvisionnements en eau industrielle, et un niveau de désinfection approprié doit être assuré afin de contrôler les agents pathogènes.

# **CHAPITRE III : La réutilisation des eaux épurées en irrigation**

**Introduction**

Le défi croissant que pose la gestion de l'eau est d'arriver à établir un équilibre entre la demande, l'utilisation de l'eau et le maintien de la qualité, que ce soit à l'échelle locale, régionale ou nationale. Cela est particulièrement difficile dans les régions arides et semi-arides des pays en voie de développement où l'eau est rare et où la population croît rapidement. Par conséquent, il y a des régions où les ressources en eau sont limitées, en particulier pendant les périodes de sécheresse et de demande élevée, et des régions où la consommation d'eau à des fins agricoles est très élevée (dans certaines régions, il s'agit de 70 % de la consommation totale). D'où l'intérêt que peut présenter la réutilisation de l'eau à l'échelle locale ou régionale.

La réutilisation de l'eau est plus pratiquée dans les régions du monde où cette ressource est limitée, au Moyen-Orient par exemple, en Australie et dans le sud-ouest des États-Unis, ou dans les régions où s'appliquent des restrictions sévères concernant l'évacuation des eaux usées traitées, notamment en Floride, dans les régions côtières et insulaire de la France et de l'Italie et dans les pays très densément peuplés de l'Europe comme l'Angleterre et l'Allemagne. Dans les pays où il existe des disparités dans la répartition régionale des ressources en eau, le recyclage et la réutilisation de l'eau sont également très répandus. Bien que les précipitations annuelles atteignent en moyenne 1714 mm et que les barrages et réservoirs soient nombreux au Japon, des régions de ce pays connaissent des sécheresses fréquentes ; c'est pourquoi la réutilisation des eaux usées urbaines est devenue une pratique courante dans de nombreuses régions du Japon.

Le degré auquel la réutilisation de l'eau est pratiquée dépend de la disponibilité de l'eau, des facteurs incitatifs sur le plan économique, de la faisabilité sur le plan de la réglementation et de l'acceptation du public. Parmi ces facteurs, la disponibilité de l'eau est probablement la plus importante ; là où cette ressource est rare, la réutilisation de l'eau est une pratique généralement acceptée du public, réalisable sur le plan économique et appuyée par un cadre réglementaire. La réutilisation de l'eau consiste en l'utilisation d'eau traitée à des fins utiles, notamment l'irrigation agricole et le refroidissement dans le secteur industriel. L'eau récupérée est un effluent traité pour obtenir une qualité conforme à un usage précis. La réutilisation directe fait référence à un système de réutilisation dans lequel l'eau récupérée est transportée jusqu'aux points où elle est réutilisée. La réutilisation indirecte concerne l'évacuation dans des eaux réceptrices (eaux de surface ou nappe souterraine) d'un effluent qui est ensuite assimilé puis prélevé en aval, ce qui ne correspond pas à une réutilisation directe planifiée de l'eau. Une majorité des stations assurent un traitement secondaire des eaux usées ce qui ne garantit pas la destruction de toutes les bactéries et microbes. Ce type d'eau n'est pas indiqué pour l'irrigation des cultures agricoles destinées à être consommées crues tels que la tomate, la carotte, la laitue et le concombre". (BOUZIDI, Y., 2020)

**1. Définition de la réutilisation des eaux usées traitées**

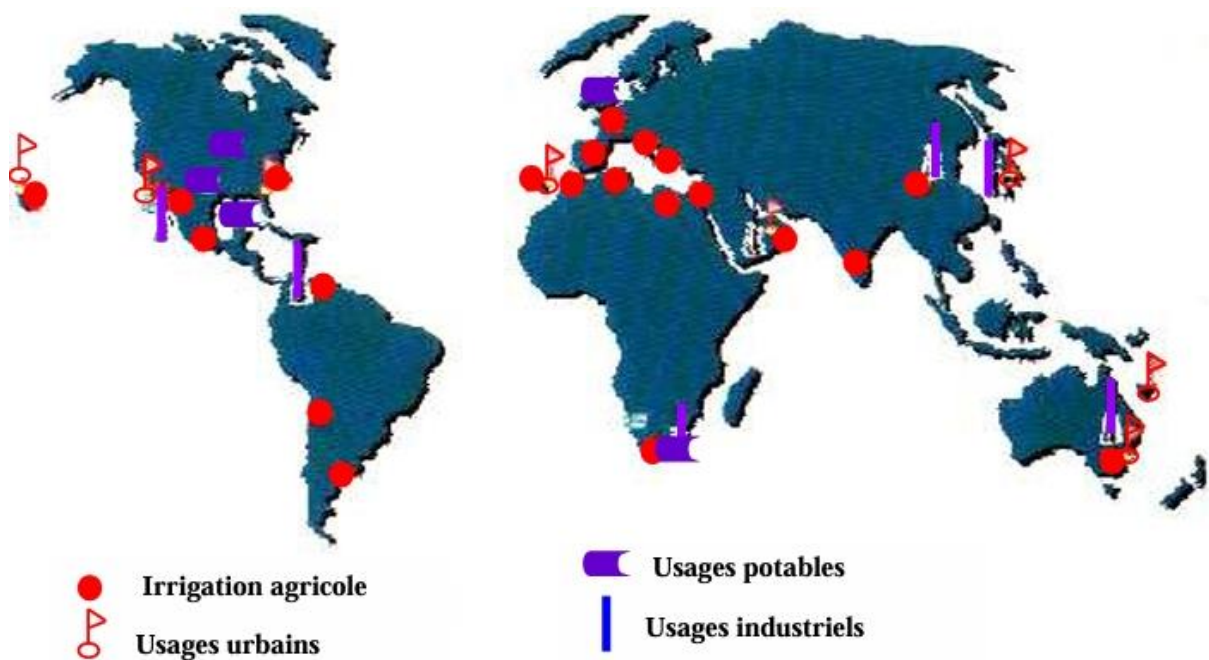
La réutilisation des eaux usées épurées est le procédé de réemploi de ces dernières après purification dans une station d'épuration, en vue de satisfaire à divers besoins comme l'irrigation agricole, l'entretien des espaces verts, certaines applications industrielles ou encore la reconstitution des nappes phréatiques. Cette méthode contribue à la sauvegarde des ressources en eau potable, à la diminution des décharges dans l'environnement et à la restriction de l'empreinte écologique, sous réserve que le traitement mis en œuvre assure la sécurité sanitaire et la préservation de l'environnement.

## 2. Historique de la réutilisation

La réutilisation des eaux usées est une pratique très ancienne. Au milieu du 1<sup>er</sup> siècle, de nombreuses villes d'Amérique du nord et d'Europe ont adopté l'irrigation des cultures comme moyen d'éliminer leurs eaux résiduaires. La raison essentielle était d'empêcher la pollution des cours d'eau et non l'amélioration de la production agricole. (Mara et Cairncross, 1991)

## 3. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe (surtout les pays méditerranéens), aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41% en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées dépasse le chiffre impressionnant de 1 millions de m<sup>3</sup> par jour dans plusieurs pays, comme par exemple aux États Unis et en Chine. (Lazarova et Brissaud, 2007)



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

La réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Elle est très développée aux États-Unis, mais aussi en Asie et dans les pays du Golfe Persique. Le bassin méditerranéen est l'une des régions du Monde où la réutilisation agricole des eaux usées urbaines est la plus pratiquée. La Tunisie et Chypre ont également une politique nationale de réutilisation. L'Espagne et l'Italie sont les deux pays européens dans lesquels la réutilisation se développe le plus rapidement. En France, la ressource en eau est bien supérieure à la demande ce qui justifie le faible développement de la réutilisation des eaux épurées. (Lazarova et Brissaud, 2007)

En France, dans le Midi méditerranéen, les zones les moins bien pourvues sont adossées à des reliefs beaucoup plus arrosés. Par ailleurs, ces régions sont desservies par de grands

équipements hydrauliques, Canal de Provence, Canal du Bas Rhône Languedoc, capables de satisfaire leurs besoins en eau. En revanche, on voit apparaître, des installations qui répondent à des nécessités locales. (Faby et Brissaud, 1997)

L'irrigation des cultures agricoles ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines au niveau mondial.

#### 4. La réutilisation des eaux usées 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)

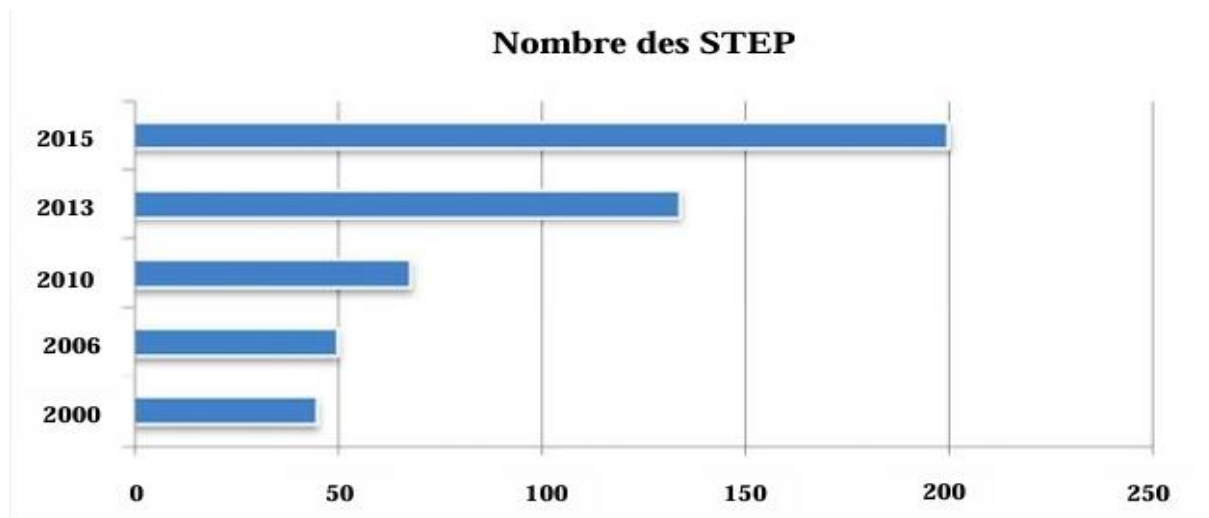


Figure III.2 : Évolution du nombre des STEP et stations de lagunage en Algérie (2000 2015) (KASBADJI, 2013)



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

## 5. Principe

L'idée d'utiliser les eaux usées traitées en irrigation s'appuie sur le recours à l'eau épurée pour remédier aux insuffisances en eau et améliorer les productions agricoles. Cette procédure requiert un traitement approprié des eaux résiduaires urbaines jusqu'à atteindre une qualité acceptable pour la mise en irrigation. Les eaux purifiées sont fréquemment chargées en nutriments, diminuant ainsi le besoin d'engrais supplémentaires, et peuvent être exploitées pour une variété de cultures, telles que les cultures maraîchères ou forestières. (SUEZ - **Water Handbook**)

## 6. La réutilisation des eaux épurée : une opportunité pour l'agriculture

L'agriculture peut tirer un grand bénéfice de la réutilisation des eaux purifiées, surtout dans une situation de manque d'eau et de modifications climatiques. Effectivement, l'agriculture est l'activité humaine qui utilise le plus d'eau, représentant approximativement 70% de la demande mondiale en eau. Les eaux usées traitées peuvent contribuer à résoudre ces pénuries d'eau tout en apportant des nutriments indispensables aux plantations, diminuant de ce fait la dépendance aux engrais chimiques. Toutefois, cette démarche requiert une régulation rigoureuse pour réduire au minimum les dangers sanitaires et écologiques. Pour faire court, la réutilisation des eaux traitées en agriculture présente de multiples bénéfices, y compris la préservation des ressources hydriques, l'augmentation de la productivité agricole et la diminution de l'emploi d'engrais chimiques. (Maji Solutions. 2021)

## 7. L'objectif de la réutilisation des eaux épurées

L'objectif de la réutilisation des eaux épurées est de répondre aux besoins en eau non potable tout en réduisant la pression sur les ressources en eau douce. Elle encourage une gestion durable de l'eau, spécifiquement dans les zones où la demande est élevée ou qui traversent des périodes

de sécheresse. Cette méthode est en accord avec une philosophie d'économie circulaire et de protection de l'environnement.

### **8. Les premiers grands projets d'irrigation des eaux usées**

Suite à la diffusion du rapport de la Première Commission Royale en 1865 au Royaume-Uni, l'épandage et la réutilisation se sont imposés comme des méthodes largement répandues pour le traitement des eaux usées. Des méthodes similaires ont été mises en œuvre à Édimbourg, Londres, Manchester ainsi que dans d'autres métropoles du Royaume-Uni. (**Juanico, 1999**),

En 1875, on comptait approximativement 50 lieux de traitement au Royaume-Uni. L'usage d'eaux usées pour l'irrigation s'est également répandu dans diverses régions d'Europe à la fin du XIXe siècle et au début du XXIe siècle, (**Fuller, 1912**)

À Paris, par exemple, la réutilisation des eaux usées des fermes a commencé dès 1868. Puis en 1904, le grand intercepté des égouts de la ville a été arrêté.

En 1876, la ville de Berlin a lancé son premier projet d'utilisation secondaire des eaux usées pour l'irrigation. À partir de 1910, environ 17 200 hectares étaient irrigués à l'aide d'eaux usées traitées, ce qui correspondait à un traitement quotidien d'environ 310 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées. 56% (soit 2 212 km<sup>3</sup> par an) sont évacués sous forme d'eaux usées, y compris par le biais du drainage agricole et des eaux usées.

Les eaux usées municipales constituent la principale source d'eaux usées exploitées directement dans le domaine agricole, 11% des ressources mondiales sont prélevées pour répondre aux besoins en eau des municipalités. (**AQUASTAT, 2014**)

Seulement 3 % de ce total est consommé, les 8% restants étant rejetés sous forme d'eaux usées, ce qui représente 330 km<sup>3</sup> par an (**Mateo-Sagasta et al., 2015**), dont une grande partie pourrait servir dans l'irrigation agricole.

Par ailleurs, le drainage agricole et les eaux usées représentent 32% (soit 1 257 km<sup>3</sup> par an) des prélèvements d'eau. Ce chiffre met en exergue le fait que les politiques, la planification et la mise en œuvre ne devaient pas être entièrement axées sur la gestion des eaux usées municipales, mais aussi sur le drainage agricole datable, le reflux et la gestion des eaux usées. Comme indiqué ci-dessus, la réutilisation de l'eau pour l'agriculture peut avoir d'importants avantages pour la santé, y compris l'accroissement de la sécurité alimentaire et une meilleure nutrition.

Selon la **FAO**, à l'échelle mondiale, 2,75 millions de km<sup>2</sup> de terres sont effectivement irrigués (**AQUASTAT, 2014**). Les quelque 330 km<sup>3</sup> d'eaux usées municipales générées chaque année pourrait irriguer 40 millions d'hectares (avec environ 8.000 m<sup>3</sup> par hectare) (**Mateo-Sagasta et al., 2015**), soit 15% de toutes les terres irriguées.

### **9. Critères de qualité des eaux épurées pour l'irrigation**

Les critères de qualité des eaux épurées pour l'irrigation reposent sur une série de paramètres clés essentiels pour assurer la sécurité des cultures, la préservation du sol et la durabilité du système d'irrigation. Il est primordial de prendre en considération les principaux critères suivants :

- **La salinité (mesurée par la Conductivité Electrique, CE) :** La salinité de l'eau doit être rigoureusement surveillée afin d'éviter la salinisation du sol. Une conductivité électrique inférieure à 0,75 dS/m est considérée comme idéale, tandis qu'une valeur comprise entre 0,75 et 3,0 dS/m est jugée de qualité moyenne. Au-delà de 3,0 dS/m, l'eau peut représenter un risque significatif pour les cultures en place. (Dufourcq, T., & Caboulet, D. 2016)
- **Le Rapport d'Adsorption de Sodium (RAS ou SAR) :** Ce rapport permet d'évaluer la proportion de sodium par rapport aux ions calcium et magnésium présents dans l'eau. Un RAS inférieur à 3 est considéré comme sécuritaire, alors qu'une valeur supérieure à 9 indique un risque élevé de dégradation de la structure du sol. Il est donc crucial de surveiller et de maintenir ce rapport dans des limites acceptables pour préserver la santé des cultures et la fertilité du sol. (Lachache, A., & Boudjenah-Haroun, S)
- **Niveau de pH :** Il est recommandé de maintenir le pH du sol entre 5 et 7 afin d'éviter tout risque de colmatage ou de toxicité pour le sol et les plantes. Des valeurs de pH supérieures à 8 peuvent être préjudiciables.
- **Ions et métaux lourds :** Il est crucial de contrôler les niveaux de fer, manganèse, cuivre, zinc, fluor, entre autres, afin d'éviter toute toxicité potentielle et le bouchage des systèmes d'irrigation. Par exemple, pour atténuer les risques encourus, les niveaux de fer doivent être inférieurs à 0,2 mg/L et ceux de manganèse inférieur à 0,1 mg/L.
- **La dureté de l'eau et son alcalinité :** sont influencées par la présence de bicarbonates et de carbonates, ainsi que par les niveaux de calcium et de magnésium, ce qui peut avoir un impact sur sa qualité et augmenter le risque d'entartrage ou de colmatage. Couture, I. (2004)

Ces paramètres sont généralement réglementés par des normes nationales, telles que l'arrêté marocain de 2002, qui établit des limites strictes et des exigences en matière d'analyses régulières pour garantir que les eaux épurées destinées à l'irrigation soient conformes aux normes en vigueur. (Ministère de l'Agriculture, 2002)

## 9. Recommandations de l'OMS et de l'USEPA

### 10.1. Point de vue d'OMS

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) reconnaît la réutilisation des eaux épurées en irrigation comme une solution efficace pour faire face au stress hydrique, sous réserve de respecter des mesures sanitaires strictes. Les recommandations de l'OMS mettent en avant l'importance d'un traitement adéquat des eaux usées, incluant des processus biologiques ou tertiaires, afin de réduire la présence d'agents pathogènes et de limiter les risques microbiologiques. Des critères de qualité microbiologique précis, notamment en ce qui concerne les coliformes fécaux, sont établis par l'OMS, qui préconise également une surveillance régulière de la qualité de l'eau traitée. Il est recommandé d'adapter le niveau de traitement en fonction de la culture irriguée, du mode d'irrigation et du contexte local, tout en mettant en place des mesures de protection pour les travailleurs et les populations exposées. L'accès aux eaux usées traitées doit être restreint pour les cultures consommées crues afin d'éviter tout risque de contamination alimentaire. Ces lignes directrices visent à promouvoir durablement la réutilisation des eaux usées tout en préservant la santé publique et l'environnement. (OMS, 1987) et (OMS,2006)

## 10.2. Point de vue de l'USEPA

Les recommandations de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant. Précisons que chaque état américain peut lui-même fixer ses propres recommandations, en s'inspirant plus ou moins de celles de l'USEPA.

Ainsi, les normes californiennes sont extrêmement sévères, et ont inspiré de nombreuses réglementations dans le monde. Dans les recommandations de l'USEPA plusieurs paramètres sont pris en compte le pH, la Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>), la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux (**BELAID, 2011**)

## 11. Réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture en Algérie

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date des temps anciens. Selon le MRE, dès les années 1990, des programmes de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mis en œuvre.

Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est de 13.37% dans le cas de la région hydrographique Chelif Zahrez, de 21.4% dans la région hydrographique Constantine- Seybousse-Mellegue, et de 34.92 % dans la région hydrographique Oranie-Chott Chergui. Cette dernière est nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du Nord algérien (400 mm/an environ). La composante réutilisation des eaux usées en irrigation devient même prépondérante avec un ratio de 45%, voire 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficientes en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épurations exploitées par l'ONA à travers les 43 wilayas, quelques stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. 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. 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

Le projet d'élaboration de normes algériennes et d'un guide technique pour les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles est en cours d'approbation par l'Institut Algérien de Normalisation. (**LAI BOUCHAALAL 2017**)

Durant le mois de Février 2018, un volume de 1,5 million de m<sup>3</sup> d'eaux épurées par 17 STEP, ont servi à l'irrigation de 11 062 hectares de superficies agricoles, soit un taux de la RE-USE de 40 % du volume épuré par les 17 STEP concernées et à 9% du volume total épuré par l'ensemble des 146 STEP en exploitation par l'ONA. (**ONA, 2018**)

Selon (ONA,2019), Pour le mois de Janvier 2019 ; la gestion et l'exploitation de 153 stations d'épuration, dont :

- 75 stations à boues activées
- 75 stations de lagunage
- 03 filtres plantés.

La capacité globale installée de ces 153 stations est de 10 359 462 Équivalent-habitants, soit un débit nominal de 1572167 m<sup>3</sup>/j.

Le volume des eaux usées traitée dépasse 21 millions de mètre cubes, soit un débit moyen journalier de 681 232 m<sup>3</sup>/j, d'importante quantité d'eau qui peuvent être gères pour une éventuelle réutilisation surtout a des fin agricole, ce secteur qui a les plus importants besoins en eau.

**Tableau III.1 : Réutilisation des eaux usées traité en agriculture en Algérie, (ONA, 2019)**

Zone/ D.A	Unité	Désignation	Capacité (Eq/H)	Débit nominal (m <sup>3</sup> /j)	Volume mensuel épuré (m <sup>3</sup> )	Volume mensuel réutilisé (m <sup>3</sup> )	Domaine Agricole (ha)	Type de culture	Utilisateurs (Concessionnaire)
Alger	Boumerdes	Station d'épuration à boues activées de Boumerdes	75 000	15 000	358 060	/	Flici : 49	Pépinière d'oranger et vignes	M. Flici
							Rahmoun : 76		M. Rahmoun
El Oued		Station de lagunage aéré de Kouinine (El Oued)	239 134	44 335	891 596	19 200	15	Arbres (Eucalyptus et kazarina)	ONA
Annaba	Guelma	Station d'épuration à boues activées de Guelma	200 000	32 000	367 815	367 815	Guelma, Boumahra et Bouchegouf : 6 980	Vergers	contribution à l'irrigation du périmètre géré par O.N.I.D
	Souk Ahras	Station d'épuration à boues activées de Souk Ahras	150 000	30 000	11 594	11 594	200	Arboriculture	Réutilisation indirecte (Apport à Oued Medjerda)
Oran	Tlemcen	Station d'épuration à boues activées de Tlemcen	150 000	30 000	788 451	189 000	Plaine de Hennaya : 912,22	Arboriculture	O.N.I.D
	Mascara	Station d'épuration à boues activées de Mascara	100 000	13 000	242 440	242 440	El-kouaer : 400	Oliviers+ culture céréalière + agrumes	Associations agriculteurs
		Station de lagunage aéré de Ghriss	48 000	5 800	17 624	17 624	Ghriss : 420		
		Station de lagunage aéré de Bouhanifia	32 500	3 900	42 213	42 213	475		
		Station de lagunage aéré de Hacine	20 000	3 200	7 311	7 311	390		
		Station de lagunage naturel d'Oued Taria	21 000	2 520	19 106	19 106	196		
		Station de lagunage naturel de Tizi	12 000	1 440	9 046	9 046	200		
		Station de lagunage naturel de Mohammadia Est	19 000	2 280	/	/	El-habra : 175		
		Station de lagunage naturel de Forha	9 400	1 128	7 820	7 820	Ghriss : 182		
Station de lagunage naturel Khalouia	6 321	949	29 047	29 047	182				
Ain Témouchent	Station d'épuration à boues activées d'Ain Témouchent	72 800	10 920	314 492	0	135	Arboriculture	Autorisation DRE	
Saida	Saida	Station d'épuration à boues activées d'Ain El Hadjar	30 000	4 800	100 926	20 000	Oued Meknes : 58		Arboriculture, Céréales
Total des 16 STEP			1 185 155	201 272	3 207 540	982 216	11 045 ha		

## 11.1. Les normes du Journal Officiel Algérien

**Tableau III.2** : Les valeurs limite des paramètres de rejet dans le milieu récepteur (JORA,2012)

Les paramètres	Valeurs limites	Unité
Température	30	°C
ph	6.5 à 8.5	-
MES	30	mg/l
DBO <sub>5</sub>	30	mg/l
DCO	90	mg/l
Azote	30	mg/l
Phosphates	02	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
Cyanures	0.1	mg/l
Aluminium	03	mg/l
Cadmium	02	mg/l
Fer	0.3	mg/l
Manganèse	01	mg/l
Mercuré total	0.1	mg/l
Nickel total	0.5	mg/l
Plomb total	0.5	mg/l
Cuivre total	0.5	mg/l
Zinc total	03	mg/l
Huiles et grasses	20	mg/l
Hydrocarbures totaux	10	mg/l
Indice phénols	0.002	mg/l
Fluor et composés	15	mg/l
Etain total	0.2	mg/l
Composés organiques Chlorés	05	mg/l
Chrome total	0.5	mg/l
(*) chrome III <sup>+</sup>	03	mg/l
(*) chrome VI <sup>+</sup>	0.1	mg/l
(*) Solvants organiques	20	mg/l
PCB	01	mg/l
(*) Chlore actif	0.001	mg/l
(*) Détergentes	02	mg/l
(*) Tensioactifs anioniques	10	mg/l

## 12. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie

## 12.1. Dispositions préliminaires

**Art. 2** : Eau usée épurée destinée à l'irrigation, toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.

**Art. 3** : L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession. La concession peut être octroyée à toute personne morale ou physique, de droit

public ou privé, qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation au sens de l'article 2 ci-dessus.

**Art. 4 :** L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doit être conforme aux clauses du cahier des charges-type annexé au présent décret auquel doit souscrire tout concessionnaire.

**Art. 5 :** Le dossier de demande de concession est adressé par le demandeur, en double exemplaire, au wali territorialement compétent. La wilaya compétente est celle sur le territoire de laquelle sont situées les parcelles destinées à être irriguées par les eaux usées épurées.

**Art. 6 :** La demande de concession doit comporter les noms, prénoms, et adresses pour les personnes physiques ou la raison sociale et l'adresse du siège social pour les personnes morales. Elle doit être accompagnée d'un mémoire technique, comportant notamment les documents et informations suivants :

- Une description de la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ainsi que le mode de traitement utilisé ;
- La description et les plans des ouvrages de stockage, d'amenée et de distribution des eaux usées épurées à réaliser ;
- Une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme, aux spécifications en vigueur ; la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées, avec un plan parcellaire à une échelle appropriée où seront indiqués les parcelles destinées à être irriguées et le mode d'irrigation préconisé ;
- Un accord écrit de l'organisme gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage par lequel il s'engage à fournir les volumes d'eaux usées épurées, en quantité et qualité requises ;
- Un engagement des agriculteurs, utilisateurs des eaux usées épurées ;
- Un plan de situation des installations d'amenée, de stockage et de distribution des eaux usées épurées, sur lequel doivent être reportés les ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable situés à proximité ainsi que les installations d'épuration.

**Art. 7 :** Les services de l'hydraulique de la wilaya doivent procéder à une étude technique de la demande de concession, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement. Ils doivent, notamment :

- Vérifier la disponibilité, en quantité et en qualité, des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- Faire une évaluation technique de la faisabilité du projet ;
- Procéder à une visite des lieux ;
- Évaluer les risques de contamination des personnes, des cultures et des ressources en eau, ainsi que les conséquences sur l'environnement ;
- Recueillir l'avis des assemblées populaires communales concernées.

**Art. 8 :** La concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est permise par arrêté pris par le wali territorialement compétent. Quand les terres destinées à être irriguées et la station d'épuration ou de lagunage sont situées sur le territoire de plus d'une wilaya, la concession est donnée par un arrêté du ministre chargé des ressources en eau

**Art. 9 :** L'arrêté de concession doit comporter les indications suivantes :

- La station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ;

- Les volumes des eaux usées épurées qui seront utilisés annuellement ;
- La localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées.

**Art. 10 :** L'administration a le droit de s'assurer, en tout temps, par la visite des ouvrages et des parcelles irriguées ainsi que par des prélèvements d'eau et de produits agricoles aux fins d'analyse, que les conditions auxquelles a souscrit le concessionnaire sont demeurées observées.

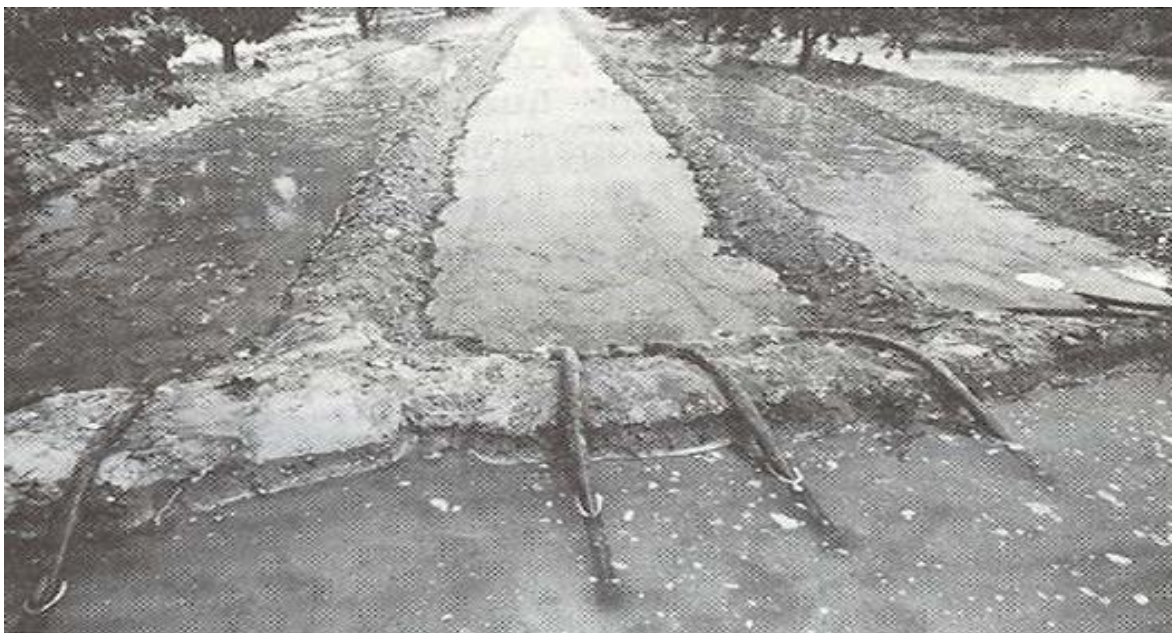
### 13. Systèmes d'irrigation

C'est le système d'irrigation qui permet d'amener l'eau de l'endroit de sa production (station d'épuration) à l'endroit de son utilisation (systèmes sol/plantes). L'irrigation est le moyen de valoriser les eaux usées traitées en les appliquant sur des cultures pour augmenter les rendements et améliorer la situation économique et sociale des populations locales.

#### 13.1. L'irrigation gravitaire

##### 13.1.1. L'irrigation par planche

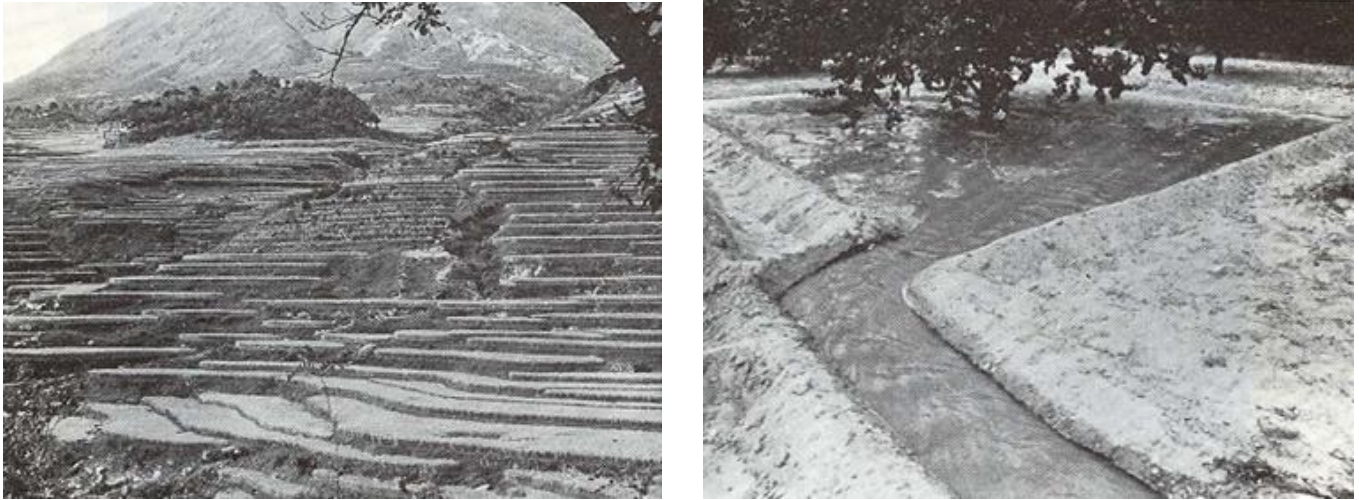
Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol incliné 0,2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables.



**Figure III.4 :** Système d'irrigation par planche (Brouwer, C., et al. 1990)

##### 13.1.2. L'irrigation par bassin

Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50 m<sup>2</sup> et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie due au nombre important de cloisonnements.



a) Irrigation par bassins à flanc de coteau

b) Irrigation par bassins pour arbre fruitiers

**Figure III.5:** Irrigation par bassins (Brouwer, C., et al. 1990)

### 13.1.3. Irrigation par rigole

C'est la plus connue dans l'irrigation gravitaire, Irrigation à la raie ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variante entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les râles peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau.

**Figure III.6 :** système d'irrigation par rigole (Écosources)

#### 13.1.4. Irrigation par siphon

L'irrigation par siphon s'adapte bien à l'irrigation des raies. Les siphons en PVC, d'épaisseur 1,5 mm, sont relativement légers lorsque leur longueur est comprise entre 1 et 1,5 m. Une charge de 10 cm est suffisante pour travailler dans des conditions adéquates. On peut par ailleurs réaliser une irrigation à deux débits, soit en utilisant des diamètres différents, soit en utilisant des bouchons percés à l'extrémité des tubes ou tout simplement en jouant sur le nombre des siphons.



Figure III.7 : système d'irrigation par siphon (Ogle, D. 2000)

#### 13.1.5. Irrigation par rampe à vannettes

Ce type de matériel correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage du débit par des vannettes coulissantes ; qui offrent des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100%. Par rapport aux siphons, on évite l'opération d'amorçage qui est un travail lent et fastidieux.



Figure III.8 : Système d'irrigation par rampe à vannettes (BENZZINE, H. n.d)

### 13.1.6. Irrigation par gaine souple

La 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.

Les perforations peuvent être effectuées sur un ou deux côtés. La gaine peut être munie de manchettes souples de dérivation qui permettent d'irriguer au centre des raies, sans se soucier d'un emplacement précis des perforations. Ce type d'irrigation, ayant une charge de 0,4 à 1 m, convient pour un sol relativement plat. Les débits de dérivation sont de l'ordre de 2 l/s



**Figure III.9** : système d'irrigation par gaine souple (BENZZINE,H .n.d)

### 13.2. L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est basée sur le principe d'une utilisation de l'eau aux plantes sous forme de pluie artificielle. Elle est recommandée dans les cas suivants :

- Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface
- Sols de faible perméables, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface
- Terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas l'établissements d'une desserte gravitaire à surface libre.

Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées où les vents supérieurs à 4 ou 5 m/s dégradent considérablement l'homogénéité de l'arrosage. Une installation d'irrigation suppression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants



**Figure III.10** : système d'irrigation par aspersion (Ben Khalfallah, R. 2020)

#### **13.2.1. Les installations mobiles**

Portatives comprennent des canalisations principales ainsi que des rampes pouvant être déplacées à la main. De ce fait, les conduites formant l'ensemble du système doivent être légères facilement raccordables et détachables les unes des autres.

#### **13.2.2. Les installations semi-mobiles**

Ces installations sont portatives et ont des canalisations principales qui sont fixes et enterrées intervalles réguliers. En général, la station de pompage est permanente, elle est située de manière à réduire le trajet de l'eau.

#### **13.2.3. Les installations permanentes**

(Ou couverture totale), où les conduites principales et les rampes sont rencontrées principalement dans les exploitations de vergers.

#### **13.2.4. Les installations temporaires**

Sont des systèmes mobiles ou semi-mobiles ayant la particularité d'avoir assez de canalisations pour pouvoir être montés au moment de la plantation et laissés en place jusqu'à la dernière irrigation avant la récolte

#### **13.2.5. Aspersion mécanisée**

Les systèmes de rampe pivotante et de rampe frontale sont des installations utilisées essentiellement dans les grandes exploitations. Elles possèdent un mécanisme d'entraî qui sert à déplacer les éléments. Le système de rampe pivotante est constitué d'une conduite avec arroseurs, supportée à l'une de ses extrémités par une tour à pivot central, une série de tours munies de roues et un moteur électrique (ou hydraulique). La conduite peut mesurer de 100 à 1500 m, pouvant irriguer jusqu'à 75 ha.

### 13.2.6. Les enrouleurs

Les enrouleurs sont des machines d'irrigation à tambour et à tuyau flexible. Ils sont actuellement désignés par "enrouleurs à cause de leur principe de fonctionnement. En effet, le porte asperseur est placé à l'une des extrémités du flexible et lame extrémité sur le tambour sur lequel il s'enroule. (Aonata, 1,2015)

### 13.2.7. L'irrigation localisée (goutte à goutte)

L'irrigation localisée apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux. Ce sont des systèmes très utilisés en maraichage, en arboriculture et en horticulture. Le plus connu de ces principes est sans doute le goutte à goutte, d'autres systèmes existent également tels que les tubes poreux alignés sur le sol ou mini-asperseurs. Ces derniers sont utilisés notamment en arboriculture (Messahel, 1988), L'eau est acheminée aux cultures au moyen de tuyaux munis de goutteurs et s'écoule par ceux-ci sous forme de gouttes avec un faible débit.



**Figure III.11:** Système d'irrigation localisée (goutte à goutte)

## 13.3. Contrôle des eaux usées épurées destinées à l'irrigation

Dans un système de réutilisation des eaux usées épurées, cinq niveaux de contrôle doivent être instaurés, à savoir l'eau épurée en sortie de la STEP, l'eau d'irrigation, le sol, La plante et la nappe.

Par ailleurs, le circuit de commercialisation et de distribution des fruits et légumes devra être restructuré pour un meilleur contrôle de produits (traçabilité)

Quel que soit le mode d'irrigation, tous les produits doivent être soumis à un contrôle de qualité microbiologique à la récolte (MRE .2012).

### 13.3.1. Limites de concentration pour des métaux en eau usée traitée pour l'irrigation continue

**Tableau III.3:** limites de concentration des métaux en eau usée traitée pour l'irrigation continue (JORA 2012)

PARAMETRES		UNITE	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	Ph	-	6.5 <= pH <= 8.5
	MES	mg/l	30
	CE	ms/cm	3
	Infiltration et SAR =0-3 CE 3-9 6-12 12-20 20- 40	d/cm	0.2
		0.3	
0.5			
1.5			
3			
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (CL)	mg/l	10
	AZOTE (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	meq/l	8.5
Éléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercur	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

## 14. Effets environnementaux d'utilisation des eaux usées traitées

### 14.1. Effets positifs

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- La préservation des eaux douces par la réduction de l'utilisation des rivières et des nappes phréatiques.
- Contribuer à la préservation des ressources naturelles, notamment dans les zones touchées par la sécheresse.
- Réduire la pollution en évitant les rejets directs de des eaux usées dans l'environnement.
- Contient des nutriments bénéfiques pour les plantes (phosphore, azote), ce qui réduit le besoin d'engrais chimique pour les plantes (phosphore, azote), ce qui réduit le besoin d'engrais chimique.
- Améliore la qualité des sols et contribue à maintenir leur fertilité. Maintenir leur fertilité.
- Fournit un approvisionnement constant en eau pour l'irrigation, ce qui soutient l'agriculture, en particulier pendant les périodes de sécheresse pour l'irrigation, qui soutient l'agriculture, en particulier pendant les périodes de sécheresse.
- Encourager une gestion de l'eau respectueuse de l'environnement conscient, durable et gestion durable de l'eau. **(FAO. 2010)**

### 14.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- Pollution des sols : présence de métaux lourds, de produits chimiques ou de résidus pharmaceutiques pouvant nuire à la qualité du sol et à la santé des plantes, métaux lourds, produits chimiques ou résidus pharmaceutiques susceptibles de nuire à la qualité du sol et à la santé des plantes.
- Contamination biologique : possibilité de bactéries, de virus ou de parasites si l'eau n'est pas traitée de manière adéquate, bactéries, virus ou parasites si l'eau n'est pas traitée de manière adéquate.
- Sur-fertilisation des sols : trop beaucoup de phosphore et d'azote peut perturber l'équilibre des sols et perturber les cultures.
- Pollution des nappes phréatiques : infiltration potentielle de substances nocives dans les eaux souterraines.
- Perturbation de l'écosystème aquatique : le déversement dans les rivières ou les lacs peut entraîner la croissance d'algues, une baisse des niveaux d'oxygène et nuire à la vie aquatique ou les lacs peuvent entraîner la croissance d'algues, une baisse des niveaux d'oxygène et nuire à la vie aquatique.
- Accumulation de toxines dans les terres agricoles : une utilisation fréquente de l'eau usée peut entraîner une accumulation progressive de substances dangereuses. **(FAO.2010)**

**14.3. Effets sur le sol :**

En raison à la rareté des ressources en eau, en utilisant ressources traité l'utilisation d'eaux agricoles traitées devient une solution de plus en plus populaire. Les eaux agricoles deviennent une solution de plus en plus populaire. Bien qu'elle offre des avantages significatifs avantages, s'ils ne sont pas correctement gérés, elle peut également avoir des effets néfastes sur le sol. **(OMS.2006)**

- Amélioration de la fertilité du sol
- Réduction de l'utilisation d'engrais chimiques
- Risque de salinisation
- Accumulation de métaux lourds
- Modification du pH du sol
- Dégradation de la structure du sol.

**14.3.1. Présence d'eau dans les sols :**

L'eau se présente dans les sols sous différents états. On distingue ainsi :

- L'eau de constitution entrant dans la composition chimique des graines ;
- L'eau liée (ou adsorbée) présente entre les feuillets argileux ;
- L'eau interstitielle qui se présente sous forme d'eau libre (lorsque le sol est saturé et trouve une nappe phréatique), ou sous forme d'eau capillaire (pour a partie du sol situé au-dessus de la nappe). **(FAO.2010)**

**14.3.2. Effets sur les eaux souterraines :**

Les eaux usées recyclées peuvent poser des risques pour leurs cours d'eau souterrains. D'abord, si les eaux usées recyclées sont mal utilisées, elles peuvent polluer les rivières souterraines infectées par les nitrates contenant. Cependant, elles peuvent aussi être utilisées sans problème pour recharger les rivières souterraines éprouvant des difficultés, indépendamment des minéraux importants dont bénéficient les plantes. Pour ce faire, il convient toutefois de s'assurer que les eaux usées recyclées sont correctement nettoyées et désinfectées, que l'eau n'est pas trop utilisée, et qu'elle est régulièrement surveillée. **(WHO.2006)**

**14.3.3. Effets sur les eaux superficielles :**

L'utilisation des eaux usées épurées pour des usages tels que l'irrigation ou le rejet dans les rivières peut avoir de véritables effets sur les eaux de surface. Si ces eaux sont bien épurées elles peuvent contribuer à diminuer la pression sur les ressources en eau douce tout en maintenant les écoulements dans les rivières et les niveaux d'eau dans les lacs, particulièrement en période de sécheresse. Mais si elles sont mal épurées, elles peuvent également engendrer des problèmes comme la pollution par les nutriments (azote et phosphore) qui, en suralimentant l'environnement aquatique en matières nutritives, peuvent contribuer au développement d'algues et à l'eutrophisation. Ce qui se traduira alors par une dégradation de la qualité de l'eau et des conditions de vie pour la faune aquatique. En outre, ce n'est pas parce qu'elles ont été

traitées qu'elles sont systématiquement exemptes de contaminants chimiques et biologiques qui peuvent affecter la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes aquatiques. C'est pourquoi, il est nécessaire qu'elles reçoivent un traitement adéquat afin de produire ces impacts négatifs. (FAO.2010)

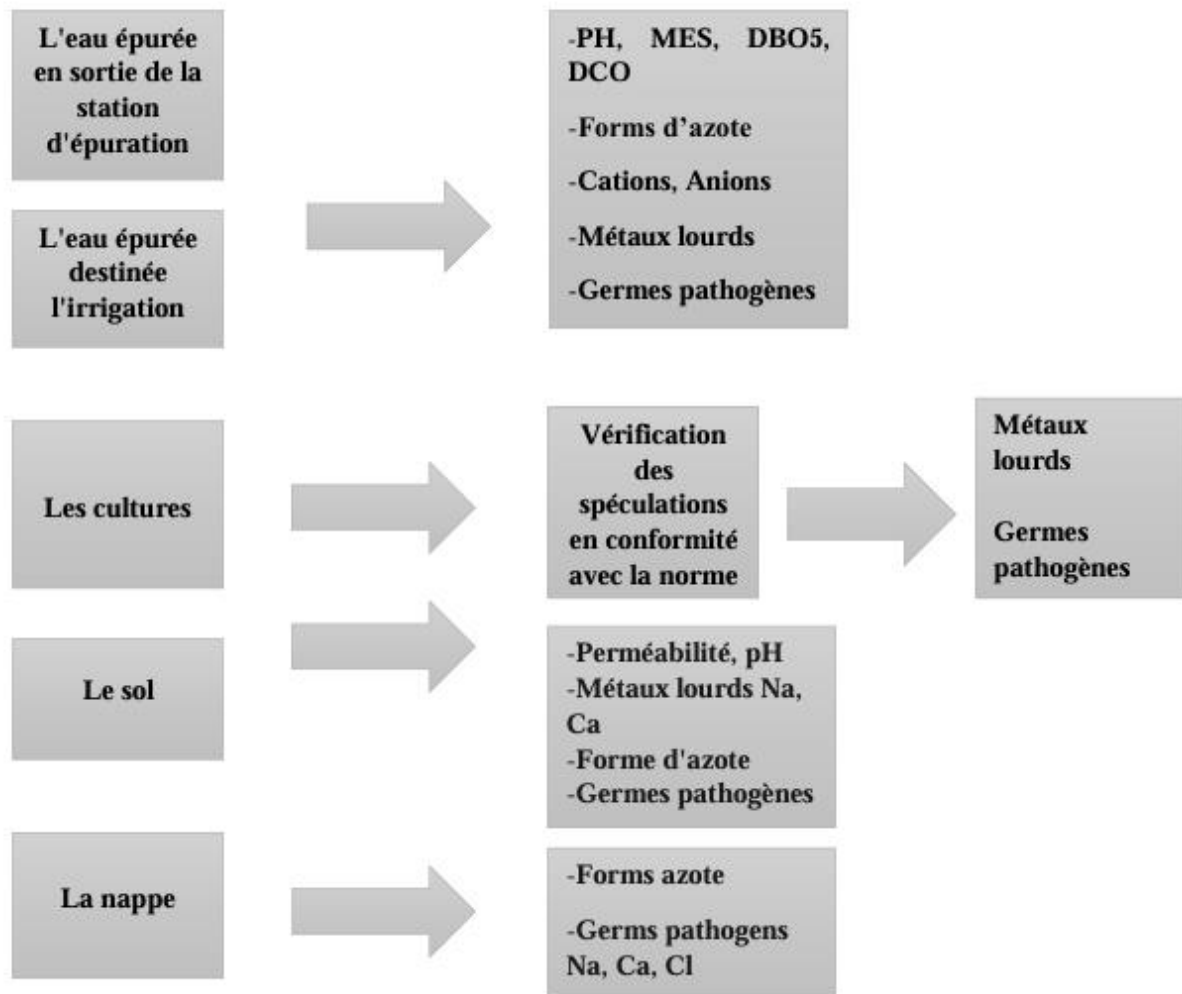
#### **14.4. Effet d'irrigation par les EUT sur les plantes cultivées :**

La fertilisation des plantes cultivées à l'aide d'effluents traités, qualifiée de fertè-irrigation, est intéressante pour plusieurs raisons. D'une part, les eaux usées contiennent des substances nutritives, telles que les azotes, les phosphates ou les potasses, qui peuvent être utilisées par les cultures pour croître et/ou se développer. Ceci réduit ainsi la quantité d'engrais chimiques nécessaires. D'autre part, dans les pays du Sud où l'accès à l'eau est parfois difficile et onéreux, cela permet de préserver les ressources en eau des eaux superficielles ou souterraines. Néanmoins, si les eaux usées épandues sont insuffisamment traitées, cela comporte des dangers, l'un des principaux étant le risque d'accumulation de sels dans les sols conduit à la salinisation du sol et donc à des dommages pour la végétation. Les eaux usées non épurées peuvent également contenir des métaux lourds et/ou des germes pathogènes pour les hommes ou les animaux, qui seront alors entraînés vers les sols. En outre, les cultures elles-mêmes, destinées à l'alimentation, pourront être alors polluées par ces mêmes métaux lourds ou pathogènes. Ainsi, si l'épandage des eaux usées peut présenter des avantages, il est également source de nombreux dangers pour l'homme et son environnement. Il est donc important que les eaux usées soient suffisamment traitées avant de pouvoir être réutilisées pour l'irrigation et que des systèmes de contrôle et de gestion ad hoc comprenant des étapes de traitement soient mis en œuvre. (WHO.2006)

#### **14.5. Impact de l'irrigation par les EU sur la nappe phréatique**

L'irrigation ou l'épandage des eaux usées sur des surfaces agricoles est l'une des techniques de recharge artificielle des nappes phréatiques couramment utilisée en région aride ou semi-aride (Asano et Cotruvo, 2004). Dans ce contexte, Zekri et al. (1995) ont constaté trois effets de l'irrigation par les EUT sur la nappe phréatique :

- une augmentation de la salinité qui a passé de 2.3 à 4.8 m après 20 ans d'irrigation ;
- une contamination microbiologique liée à la proximité de la nappe de la surface du sol ;
- une pollution par les métaux lourds.



**Figure III.12:** Localisation des contrôles et des analyses (JORA, 2012)

### Conclusion

La réutilisation des eaux usées constitue désormais une réponse stratégique aux défis de la gestion de l'eau, notamment dans les zones où cette ressource est rare. Bien qu'elle présente de nombreux avantages pour l'agriculture, l'économie et l'environnement, sa mise en œuvre nécessite des technologies adaptées, une réglementation stricte et une sensibilisation accrue du public. Il est donc crucial d'allier innovation technologique et responsabilité sociale afin de garantir la sécurité des usages et de préserver la santé publique.

Cependant, la réussite de cette démarche dépend de plusieurs facteurs : la disponibilité de la ressource, l'acceptation sociale, la viabilité économique, mais surtout le respect de critères de qualité stricts pour garantir la sécurité sanitaire des cultures et la durabilité des sols. Les recommandations des organismes internationaux, comme l'OMS, soulignent l'importance d'un encadrement réglementaire rigoureux et d'une surveillance continue.

# **Partie pratique**

**CHAPITRE IV :**  
**PRESENTATION DE LA STEP**  
**DE BOUMERDES**

**Introduction :**

La gestion et le traitement des eaux usées constituent un enjeu majeur pour la protection de l'environnement et la santé publique. En Algérie, l'Office National de l'Assainissement (ONA) est chargé de la mise en œuvre des politiques d'assainissement à travers plusieurs stations d'épuration réparties sur le territoire national. Parmi celles-ci, la station d'épuration des eaux usées de Boumerdès joue un rôle essentiel dans le traitement des effluents domestiques de la région.

Cette station, qui fonctionne selon le procédé des boues activées à faible charge massique avec aération prolongée, est conçue pour traiter un débit journalier de 15 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées (ONA, 2023). Son exploitation permet non seulement de préserver les ressources en eau, mais aussi d'améliorer les conditions sanitaires locales en réduisant la pollution des milieux naturels (Ministère des Ressources en Eau et de la Sécurité Hydrique, 2022). Ainsi, la station d'épuration de Boumerdès constitue une infrastructure clé du réseau d'assainissement en Algérie, contribuant aux objectifs de développement durable et à la protection des écosystèmes aquatiques.

**1. Office national de l'assainissement**

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national, à caractère industriel et commercial. Il a été créé par le décret exécutif<sup>o</sup> 01-102 du 27 Moharrem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre des ressources en eau. L'Office National de l'Assainissement est chargé dans le cadre de la politique nationale de l'assainissement : de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations (des infrastructures d'assainissement) et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux.

L'ONA assure la réalisation des ouvrages des projets d'infrastructures d'assainissement et d'épuration des eaux usées ainsi que l'exploitation de ces ouvrages. Et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux. Il assure aussi :

- La protection de l'environnement hydrique et la sauvegarde des ressources en eau ;
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique ;
- La préservation de la santé publique ;
- L'élaboration et de la réalisation des projets en relation avec le traitement des eaux usées.

**2. Définition d'une station d'épuration (STEP)**

Une station d'épuration présente un site de dépollution des eaux usées avant leurs rejets dans le milieu naturel, les cours d'eau et l'environnement en général, elle est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel. (ADEME, 2009)

### 3. système d'assainissement centre de l'unité de Boumerdes

#### 3.1. Description et situation géographique

La ville de Boumerdès est située à une cinquantaine de kilomètres à l'Est d'Alger ; elle est située au bord de la mer méditerranée. La wilaya de Boumerdès compte environ ;786 602habitants. La mise en place du système de management environnemental concerne le système d'assainissement de l'unité de Boumerdes à savoir :

- La STEP de Boumerdès est située à la limite Sud de la commune de Boumerdes dans un bas fond sur la rive gauche de l'oued TATAR EG sur le chemin reliant Boumerdès A Corso Elle s'étend sur une superficie de 34966. 15 m', sa capacité est de 75000 Iq hab., conçue protéger le milieu récepteur, en l'occurrence la mer méditerranée.
- Le Centre et réseau d'assainissement reliant la SR3 a la STEP (Refoulement) ;
- Les stations de relevage SRI et SRI Boumerdes (l'activité principale de la SRI est le pompage des eaux Usées vers la SRI Boumerdès)



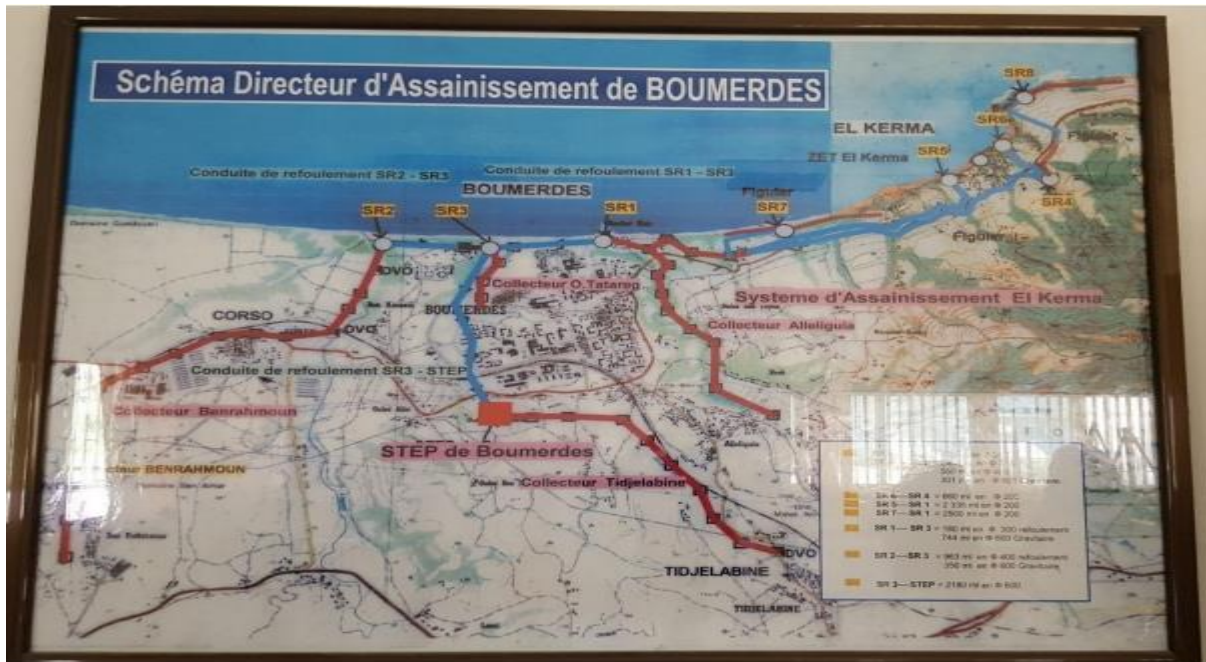
Figure IV.1: La STEP de BOUMERDES par un satellite

#### 3.2. L'arrivée des eaux :

La station de relevage principale est la SR3, cette dernière reçoit l'eau usée de plusieurs stations de relevage (8 stations) dispersées entre la ville de Boumerdes et ses environs tel que Corso et Ben Rahmoune. La SR3 envoie l'eau usée vers la STEP de Boumerdes par pompage, remarquant qu'au niveau des SR, on a un dégrilleur pour gros déchets solides, L'autre arrivée est de Tidjebine est dotée d'un panier dégrilleur.

##### 3.2.1. Collecteurs Inter-Stations :

Le réseau d'assainissement est de type unitaire. Les collecteurs principaux s'orientent vers la station d'épuration en régime gravitaire et forcé dans le cas morphologique défavorable ou des stations de relevage sont réalisées.



**Figure IV.2 :** Schéma directeur d'assainissement de Boumerdes

Le réseau principal développe une distance d'environ 12 km et se compose de Collecteurs principaux :

- Conduite gravitaire : commune de Tidjelabine-station de relevage l=4360 ml en DN 600 BA.
- Conduite gravitaire : commune de Tidjelabine-STEP l= 2354 ml en DN500 BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 1 Regard de dissipation l = 180 ml en DN 300A/C.
- Conduite gravitaire : regard de dissipation R SR3 l=744 ml en DN 600BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 2- regard de dissipation l = 963 ml en DN 400A/C
- Conduite gravitaire : regard de dissipation R SR3 l=350 ml en DN 600BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 3- Step l = 2180 ml en DN 600A/C

Tableau IV.1: Fiche technique des Huit (08) stations de relevage de Boumerdes

Désignation	Caractéristiques
SR1	Débit unitaire : 37l/s HMT : 10 m Nombre de pompes : 04
SR2	Débit unitaire : 45 l/s HMT : 31 m Nombre de pompes : 04
SR3	Débit unitaire : 15 l/s HMT : 41 m Nombre de pompes : 04
SR4	Débit unitaire : 86 l/s HMT : 22 m Nombre de pompes : 02
SR5	Débit unitaire : 26 l/s HMT : 47 m Nombre de pompes : 02
SR6	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02
SR7	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02
SR8	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02

Il Ya des débits supérieur à la capacité nominal (15 000 m<sup>3</sup>/j) mais ne posent aucun problème au sein de l'installation car il y a le bassin d'orage à l'entrée de la station pour la réception des eaux qui surpassent le débit de 15 000 m<sup>3</sup>/j.

### 3.3. Caractéristique technique et données se base du constructeur.

La station de Boumerdes et du type << boues activées à faibles charge massique a aération prolongée>> (Cm = 0.076 kg DBO<sub>5</sub>/ kg MVS / jour). L'eau a traité possède caractéristique suivantes : (R. OULEBSIR, 2020)

Tableau IV.2 : caractéristique technique de la STEP de Boumerdes (ONA,2024)

Caractéristique	Valeur
Capacite de traitement	75 000 équivalents habitants (EH)
Volume journalier traite	15 000 m <sup>3</sup> /jour
Débit moyen sur 24 h	625 m <sup>3</sup> /heure
Débit de point en temps sec	1 063 m <sup>3</sup> /heure
Débit de point de temps de pluie	1994 m <sup>3</sup> /heure

Le tableau suivant donne les concentrations admissibles des paramètres de pollution :

**Tableau IV.3:** concentrations admissibles des paramètres de pollution (ONA,2024)

Paramètre	Valeur limite
pH	6.5-8.5
Matières en suspension (MES)	30 mg/L
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5)	30 mg/L
Demande chimique en oxygène (DCO)	90 mg/L
NTK	40 mg/L

#### 4. LES DIFFERENTES ETAPES DE TRAITEMENT :

##### Traitement des eaux :

##### Phase 1 : Prétraitement ou traitement préliminaires

- Arrivée des eaux. By-pass en cas d'orage vers l'oued, à partir du regard amont au poste de relevage de la station.
- Dégrillage grossier, relevage, dégrillage fin. Dessablage et dégraissage déshuilage.

##### Phase 2 : traitement secondaire ou traitement biologique

- Traitement biologique
- Décantation clarification

##### Traitement des boues :

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

- Un épaissement statique
- Une déshydratation mécanique puis la mise en décharge

#### 4.1 Traitement des eaux

##### 4.1.1 Arrivée de l'eau :

L'eau brute arrive d'une part par pompage, d'autre part par gravité. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation. Un bypass contrôle l'entrée générale de la station.



**Figure IV.3 :** Bassin d'orage de la STEP de BOUMERDES

#### **4.1.2 Prétraitement :**

##### **4.1.2.1 Dégrillage :**

Un dégrilleur automatique de type champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20mm sert à enlever les petits déchets solides, Les refus sont évacués par convoyeur à vis vers une benne, et jetés à la décharge publique. En cas d'avarie ou d'entretien sur le dégrilleur automatique, il est prévu un canal de bypass équipé d'un dégrilleur de secours à champ droit à nettoyage manuel et espacement entre barreaux de 20mm ; il est isolé par des batardeaux en aluminium à commande manuelle Le dégrilleur est monté dans un canal de 1 mètre de large. il est composé d'une grille courbe en acier galvanisé.



**Figure IV.4 :** dégrilleur de la STEP de Boumerdes

##### **4.1.2.2 dessablage-dégraissage :**

Les ouvrages de dessablage-dégraissage sont alimentés par une entrée centrale, parcourt tout l'ouvrage et sort à l'autre extrémité à travers un orifice immergé, puis passe sur un déversoir aval de maintien d'eau. Les ouvrages circulaires de dessablage-dégraissage ont pour but : 1- l'élimination par décantation de la plus grande partie des sables de dimensions supérieur à 150-200 $\mu$ m.

La rétention des particules sableuses contenues dans l'eau résiduaire urbaine est indispensable, car elle permet :

- D'éviter l'abrasion des engins mécaniques.
- D'éviter les surcharges dans les étapes suivantes du traitement, notamment en cas de pluie, ou la quantité journalière de sable arrivant sur la station peut être multipliée de 3 à 7 fois.
- D'éviter l'accumulation de sables dans les étapes ultérieures du traitement
- La quantité de sable piégé est de l'ordre de 15 à 40 mg/l
- L'élimination d'une grande partie des matières flottantes (graisses, écumes...) en partie supérieur des ouvrages.

L'élimination des graisses permet :

- D'améliorer la quantité visuelle de la surface des ouvrages ultérieurs.
- De limiter la quantité de flottants et graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner ou de flotter dans les ouvrages situés en aval et qui peuvent créer des problèmes de colmatage et de fermentation.
- La quantité de graisses piégées est de l'ordre de 5 à 15 mg /l.



**Figure IV.5 :** Dessableur-dégrilleur de la STEP de Boumerdes

### 4.1.3 Bassins d'aération :

L'eau provenant du prétraitement est dirigée vers 1,2 ou 3 bassins d'aération suivant le débit (500,1000 ou 1500 m<sup>3</sup> /jour). Elle subit un traitement biologique par aération. L'air est fourni par 3 aérateurs de surface qui peuvent être réglés en cadence durée et en régulation O<sub>2</sub>. Les bassins reçoivent d'autre part la « liqueur mixte » constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs secondaires.



**Figure IV.6:** Bassin d'aération

### 4.1.4 Clarification :

Les eaux issues des bassins d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs ou décanteurs secondaires qui sont constitués de trois ouvrages en béton de diamètre 24m de hauteur latérale d'eau de 2.6 m. La boue est décantée et l'eau épurée est envoyée à travers les chicanes vers oued TATAREG, puis vers la mer et une partie est utilisée en irrigation sous certaines conditions.

Une partie des boues décantées est recirculée vers les bassins d'aération et une l'autre partie est extraite pour être envoyée vers l'épaisseur c'est l'excès de boue. Les clarificateurs sont équipés chacun d'un pont racleur radial à entraînement périphérique comprenant :

- Une passerelle avec garde-corps.
- Une roue à bandage en caoutchouc.
- Un pivot central avec couronne à bagues.
- Un motoréducteur muni d'un limiteur de couple pour la sécurité de fonctionnement.
- Un raclage de fond.
- Un dispositif de récupération des flottants.

Les racleurs de fond sont fixés sous la passerelle pivotant sur la colonne centrale de l'ouvrage et récupèrent les boues qui sont dirigées vers l'ouvrage de recirculation.

Les flottants sont repris par une lame de surface qui les guide progressivement vers des puits de reprise des flottants situé en un point de la périphérie de l'ouvrage.

Les eaux clarifiées sont recueillies par surverse sur un déversoir circulaire constitué de lames crénelées en acier galvanisé.



**Figure IV.7:** Clarificateurs de la STEP de Boumerdes

#### 4.1.5. Traitement final

##### 4.1.5.1. Désinfection

L'eau clarifiée transite vers un ouvrage en béton comportant un certain nombre de canaux en chicanes. Un premier canal permet la mesure du débit d'eau épurée. Une série de canaux en chicane permet d'assurer un contact prolongé entre l'eau à désinfecter et l'eau chlorée. Une fois épurée l'eau est rejetée dans le milieu naturel.



**Figure IV.8 :** Bassin aux chicanes

**Remarque :** Autrefois, le bassin en chicane servait à la chloration de l'eau, une phase cruciale dans le processus de purification pour éliminer les impuretés avant sa libération dans l'environnement ou sa réutilisation. Cependant, des recherches récentes ont souligné les impacts néfastes du chlore gazeux sur les êtres vivants aquatiques.

Effectivement, cette substance chimique a le potentiel de perturber les écosystèmes et d'endommager la biodiversité des environnements récepteurs, tels que les (rivières ou la mer). Face à ces observations environnementales, l'étape de chloration a été éliminée du procédé de purification. Actuellement, le bassin en chicane ne sert plus à la désinfection, mais est plutôt utilisé comme un espace de stockage temporaire de l'eau avant son transfert vers ses deux destinations finales : les récepteurs naturels (comme la mer ou les rivières) et les zones d'irrigation. Cette mise en œuvre a pour but d'harmoniser les buts de purification de l'eau avec la sauvegarde de l'environnement et la conservation des écosystèmes aquatiques.

**4.2 Le traitement des boues :**

Principe du traitement :

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

- 1) un épaissement statique.
- 2) une déshydratation mécanique : les boues épaissies sont d'abord floculées avant d'être envoyés sur une bande presseuse.

L'ajout de polymère (poly électrolyte) en faible quantité est nécessaire afin d'améliorer la filtrabilité des boues avant de passer à la déshydratation mécanique.

**4.2.1 L' épaisseur :**

L'épaisseur est constitué d'un ouvrage en béton de diamètre intérieur de 13m et est équipé d'un pont racleur diamétral à entrainement central supporté par une colonne centrale en béton armé. L'accès au centre se fait par une passerelle elle-même construite en béton armé. Les boues sont admises dans la partie centrale de l'ouvrage et guidée vers le fond à l'aide d'un déflecteur.

Le pont racleur est équipé :

- D'un ensemble de raclage de fond et lames d'épaississement en acier galvanisé.
- D'un Motoréducteur menu d'un réducteur de vitesse.
- De déversoirs en tôle galvanisée pour retour en tête du surnageant. Les boues épaissies sont reprises au fond de l'ouvrage à l'aide d'une pompe à rotor excentré pour être refoulées vers la déshydratation.
- **Caractéristique dimensionnelle :**

<b>Diamètre intérieur</b>	<b>13m</b>
---------------------------	------------

- **Caractéristiques fonctionnelles :**

<b>Charge massique</b>	<b>30kg/m<sup>2</sup>/j</b>
<b>Concentration de sortie moyenne</b>	<b>20g/l minimum</b>
<b>Volume journalier à transférer en déshydratation</b>	<b>792m<sup>3</sup></b>



**Figure IV.9 :** Epaisseur de la STEP de Boumerdes

#### 4.2.2 super-presse :

La boue est introduite avec un poly électrolyte dans un flocculateur équipé d'un agitateur vertical à vitesse réglable et se déverse sur la première toile dans une zone d'égouttage.

Après l'égouttage, la boue est prise entre les deux toiles et soumise à une compression progressive dans une entrée en forme de coin suivie d'un enroulement sur un tambour perforé de grand diamètre jusqu'au serrage dû à la mise sous tension des toiles.

Les deux toiles passent ensuite sur une série de rouleaux de renvoi de petit diamètre qui augmentent la pression d'essorage en même temps qu'un effort de cisaillement qui rompt la structure de la boue, ouvre des canaux d'essorage de gâteau et améliore de déshydratation finale.

En sortie les deux toiles se séparent après le rouleau entrainement et le gâteau est dégagé par deux racloirs pour évacuation sur une bande transporteuse.



**Figure IV.10:** super-presse de la STEP de Boumerdes



**Figure IV.11:** Bande a presse

**4.2.2.1 Caractéristiques générales SUPERPRESS :**

**Tableau IV.4 :** Caractéristiques générales SUPERPRESS

<b>Largeur de bande</b>	3m
<b>Langueur de bande</b>	Bande 1 : 15 m Bande 2 : 18m
<b>Capacité unitaire</b>	150kg MS/m/h
<b>Temps de fonctionnement</b>	13.6h

**Avec 1 SUPERPRESS en service :**

**Tableau IV.5 :** Caractéristiques de super-press.

<b>Consommation de polymère moyenne</b>	<b>20kg/j</b>
<b>Siccité des boues déshydratées</b>	<b>15+-1%</b>

**Conclusion**

L'objectif de la station n'est pas de rendre l'eau potable mais acceptable par la nature, les eaux entrants la station d'épuration ont tout d'abords passées aux étapes de traitement pour éliminer les déchets et les matières grosses, puis ces eaux passent par un traitement biologique ou les bactéries vont se nourrir les derniers déchets.

# **CHAPITRE V : MATERIEL ET METHODES**

## Introduction

L'analyse de la qualité de l'eau purifiée provenant de la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Boumerdes exige une démarche systématique et précise, dans le but d'apprécier l'efficacité du processus de traitement et le respect des normes écologiques actuelles par l'eau traitée. Ce chapitre détaille tous les instruments, dispositifs et méthodes d'analyse employés pour la caractérisation physico-chimique et microbiologique de l'eau purifiée. Il précise aussi les procédures d'échantillonnage, les conditions de prélèvement et les techniques standardisées appliquées pour mesurer divers paramètres analysés (pH, DBO<sub>5</sub>, DCO, MES, nutriments, microbes pathogènes, etc.). Le but est de proposer une description détaillée et répétable des méthodes employées pour assurer la fiabilité et la validité des résultats obtenus.

### I. Caractérisation de l'eau épurée de la STEP de Boumerdès

#### 1. Analyses physico-chimique

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux épurées ont été effectuées au niveau du laboratoire de Boumerdes selon les protocoles résumés dans le tableau suivantes :

**Tableau V.1** : Caractéristiques physico- chimiques de l'eau épurée

PARAMETRES	PRINCIPE DE LA METHODE	LA REFERENCE DE L'APPAREIL
PH	Mesure directe avec le ph mètres	HANNA pH 210
TEMPERATURE	Mesure directe avec thermomètre	/
CONDUCTIVITE	Mesure directe avec conductimètre	STARTER3100c
LES MATIERS EN SUSPENSIONS (MES)	Filtration, séchage	/
LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO)	DCO mètres	Spectrophotomètres UV-visible Hach Lange DR3900.
LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (DBO <sub>5</sub> )	DBO mètres	/
L'AZOTE AMMONIACAL (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Minéralisation en milieu acide et en présence de catalyseur	Les nitrates (NO <sub>2</sub> )
LES NITRATES (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Méthode au salicylate de Na	Rodier
LES NITRITES (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	/Spectroscopie d'absorption moléculaire	ISO 6777
LES ORTHOPHOSPHATES (PH <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Spectroscopie d'absorption moléculaire	ISO N° 6878
PHOSPHATE TOTAL (PT)	Spectroscopie d'absorption moléculaire	AFNOR T90-023

## 1.1. Mesure électro-métrique du pH :

### 1.1.1. Appareillages :

PH-mètre utilisé : HANNA pH 210 doté d'une électrode au platine combinée avec une sonde de température.

### 1.1.2. Mode opératoire :

- On prélève un volume quelconque de l'échantillon à analyser.
- Puis on plonge l'électrode du pH mètre dans ce dernier.
- On attend jusqu'à stabilisation de la valeur du pH puis on la note.
- Après chaque mesure, on rince l'électrode du pH mètres avec de l'eau distillé.

## 1.2. Température :

Il est indispensable de contrôler la température de l'eau, car elle est l'un des paramètres les plus importants et lorsqu'on a un changement de la température, on aura un changement dans les autres paramètres.

## 1.3. Mesure de la conductivité électrique :

L'appareil utilisé est un conductimètre équipé d'une sonde de mesure de température. La cellule de conductimètre rincée avec l'eau distillée est plongée dans la solution à analyser et la valeur de la conductivité est affichée sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro Siemens par Centimètre (us / cm) ou bien milli Siemens par centimètre (ms / cm).

## 1.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

### 1.4.1. Mode opératoire

- On introduit 2 ml d'échantillon dans un tube Hach de la gamme 0 - 1500mg / L pour l'effluent d'entrée et de la gamme 0 - 150mg / L pour l'effluent de sortie ;
- Puis on chauffe des tubes hermétiquement fermés à 150 °C pendant 2 heures ;
- Refroidissement ;
- On mesure l'absorbance au spectrophotomètre à 620 nm.

## 1.5. La demande biochimique en oxygène (DBO5)

### 1.5.1. Mode opératoire

- On remplit les flacons avec les échantillons d'eau (usée et épurée).
- On met un barreau magnétique dans chacun des flacons pour homogénéisation.
- On rajoute un absorbant dans les bouchons hermétique pour absorber l'humidité, le plus utilisé est hydroxyde de lithium.
- Les échantillons sont placés dans une chambre thermostatée et sombre durant la mesure de DBOS
- On règle l'appareil à ZERO et on met l'incubateur en marche pendant 5 jour à 20°C.
- Le résultat sera obtenu directement sur l'afficheur.

## 1.6. Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub>

Ce rapport évalue la biodégradabilité d'une eau usée, c'est à dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Pour un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 1 et 3. Pour les effluents d'industries agroalimentaires, il est inférieur, de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité. Enfin, lorsqu'il est supérieur à 2.5 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable.

Biodégradabilité =  $K = \text{DCO}/\text{DBO}_5$

**Tableau V.2** : Biodégradabilité des eaux usées en fonction de K : (ROUABAH.N, 2008)

Coefficient (K)	Appréciation
<b>K=1</b>	DCODBO, l'effluent est complètement biodégradable
<b>1 &lt; K &lt; 1,5</b>	l'effluent est biodégradable
<b>1,5 &lt; K &lt; 2,5</b>	l'effluent est moyennement biodégradable
<b>K &gt; 2,5</b>	l'effluent n'est pas biodégradable

## 1.7. Détermination de l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub>) : ISO 7150/1984 (F)

### 1.7.1 Domaine d'application :

Cette méthode est aussi bien applicable aux eaux potables qu'aux eaux brutes, car elle nécessite une dilution pour les eaux très salées et colorées.

### 1.7.2. Appareillage :

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à  $\lambda = 655 \text{ nm}$ .

## 1.8. Détermination des nitrates (NO<sub>3</sub>) : Rodier, 2005

### 1.8.1. Appareillage :

- Étude universelle MEMMERT (incertitude  $\pm 5,79 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Flacon 25 ml.
- Bécher 25 ml.
- Spectrophotomètre UV visible.

## 1.9. Détermination des nitrites (NO<sub>2</sub>) : ISO 6777

### 1.9.1. Appareillage :

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure de l'absorbance dans la région UV sensible à  $\lambda = 543 \text{ nm}$ .

## 1.10. Détermination des ortho phosphates (PO<sub>4</sub>) et du phosphore total : ISO N° 6878

### 1.10. 1. Domaine d'application :

Cette méthode est utilisée pour toutes les eaux, la teneur en phosphates entre (0,005 et 0,8 mg/l) peut être déterminée sans dilution, et un procédé d'extraction permet de déterminer des concentrations allant jusqu'à 0,0005 mg/l.

### 1.10.2. Appareillage :

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure de l'absorbance dans la région UV sensible à  $\lambda = 880 \text{ NM}$ .

## 1.11. Détermination du Phosphore Total

### 1.11.1. Domaine d'application :

La détermination du phosphore total dans les eaux usées est essentielle pour contrôler la pollution générée par les rejets domestiques et industriels. Elle permet également d'évaluer l'efficacité des traitements mis en œuvre dans les stations d'épuration. De plus, cette analyse est indispensable pour assurer le respect des normes environnementales, en particulier celles visant à limiter l'eutrophisation des milieux aquatiques, phénomène provoqué par un excès de nutriments comme le phosphore.

### 1.11.2. Appareillage :

- **Système de minéralisation** (autoclave, bloc digestif) : pour transformer tout le phosphore en ortho phosphate.
- **Spectrophotomètre UV-Visible** : mesure de l'absorbance à environ **880 nm**.
- **Bain-marie** : développement de la coloration.
- **Matériel de laboratoire** : fioles, pipettes, tubes à essai.
- **Équipements de sécurité** : hotte, gants, lunettes de protection.

## 2. les Points de prélèvement– Station d'épuration de Boumerdès

### 2.1. Point de prélèvement des eaux brutes

À la station d'épuration de Boumerdès, le point de prélèvement des eaux brutes est situé à l'entrée de la station, avant toute étape de prétraitement. Plus précisément, les eaux usées collectées (domestiques, industrielles et parfois pluviales) arrivent par le collecteur principal. L'échantillonnage a lieu immédiatement avant le dégrillage, dans le but d'obtenir un échantillon représentatif de la pollution initiale sans influence des procédés mécaniques.

Il est crucial de prélever à ce point pour :

- Apprécier la charge polluante entrante (DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, nutriments, etc.),
- Superviser la performance générale de la station,

- Modifier les procédures de traitement si requis.



**Figure V.1 :** Point de prélèvement des eaux brutes

## 2.2. Points de prélèvement des Eaux épurées

À la station d'épuration de Boumerdès, le prélèvement des eaux épurées s'effectue à la sortie de la station, après l'ensemble des traitements appliqués aux eaux usées. Ce point de prélèvement vise à contrôler la qualité de l'eau traitée avant son rejet dans le milieu naturel ou sa réutilisation (notamment en irrigation).

L'emplacement où l'eau purifiée est collectée se trouve généralement :

- Conformément à l'approche biologique,
- Après le processus de clarification secondaire (ou décantation finale),
- Juste avant leur suppression dans l'environnement (mer, rivière, etc.) ou leur réemploi.

Ce prélèvement est crucial pour :

- Vérifier le respect des normes d'émission réglementaires (DBO, DBO5, MES, azote, phosphore, coliformes, etc.),
- Assurez-vous que l'eau recyclée ne présente pas de toxicité,
- Apprécier l'efficacité globale de la thérapie.



**Figure V.2 :** Points de prélèvement des Eaux épurées

### **2.3. Points de prélèvement des boues actives**

L'endroit où l'extraction des boues activées se fait à la station d'épuration (STEP) de Boumerdes est surtout au niveau des clarificateurs secondaires. Ces clarificateurs traitent les eaux provenant des bassins d'aération où le traitement biologique par boues activées est effectué. Les boues décantées au fond des clarificateurs sont partiellement recirculées vers les bassins d'aération sous forme de liqueur mixte, tandis que l'excès de boues est extrait pour être envoyé vers l'épaississeur.

Plus précisément, le prélèvement des boues activées se fait à la sortie des clarificateurs secondaires, avant l'étape d'épaississement statique. Les boues épaissies sont ensuite floculées et envoyées vers une déshydratation mécanique (bande presseuse) pour réduire leur teneur en eau avant mise en décharge.

En résumé, le prélèvement des boues activées à la STEP de Boumerdes se fait :

- Au niveau des clarificateurs secondaires, où les boues sont décantées,
- Avant l'étape d'épaississement statique,

Pour permettre leur analyse ou leur traitement ultérieur. Ce paramétrage suit les procédures habituelles de gestion des boues activées dans les usines d'épuration à boues activées de faible densité et d'aération prolongée, ce qui est le cas à Boumerdes.

Les documents examinés ne précisent pas l'endroit exact de la collecte (par exemple : lieu précis sur le clarificateur ou sur la tuyauterie), mais il est courant et logique de prélever à l'endroit où les boues des clarificateurs sortent.

Par conséquent, pour obtenir un échantillon représentatif des boues activées à la STEP de Boumerdes, on doit se diriger vers la sortie des clarificateurs secondaires, avant le processus d'épaississement.



**Figure V.3 :** Points de prélèvement des boues actives

#### **2.4. Points de prélèvement des boues recirculées**

En particulier, les clarificateurs secondaires sont munis de ponts racleurs qui acheminent les boues vers l'ouvrage de recirculation. Ainsi, le prélèvement est effectué sur la conduite ou le canal qui permet cette recirculation des boues vers les bassins d'aération, ce qui permet d'obtenir un échantillon représentatif des boues recirculées dans le système de traitement biologique.

En résumé, les lieux de collecte des boues rejetées à la station d'épuration des Boumerdes sont les suivants :

- Juste après les clarificateurs secondaires, sur la ligne de recirculation des boues vers les bassins d'aération,
- En ce qui concerne la manière de conduire ou de renvoyer les boues activées,
- Afin d'assurer une surveillance optimale du processus de traitement, il est important de préparer les boues avant leur insertion dans les bassins biologiques.

Un volume minimum d'environ un litre est conseillé pour un échantillon de boues recirculées, ce qui correspond aux méthodes d'échantillonnage habituellement utilisées dans ce type d'équipement.



**Figure V.4 :** Points de prélèvement des boues **recirculées**

### 2.5. Points de prélèvement de polymère

À la station d'épuration (STEP) de Boumerdes, le prélèvement des polymères se fait au niveau du système de déshydratation des boues, notamment à l'entrée du flocculateur où le poly électrolyte (polymère) est injecté. Ce point est situé juste avant la bande presseuse (super-presse), qui assure la déshydratation mécanique des boues épaissies.

Le polymère est mélangé aux boues dans un flocculateur équipé d'un agitateur vertical, ce qui favorise la formation de floccs avant l'égouttage et la compression sur la bande presseuse. Le prélèvement à ce niveau permet de contrôler la qualité et la concentration du polymère utilisé pour optimiser la floculation et la déshydratation des boues.

En résumé, le point de prélèvement des polymères à la STEP de Boumerdes est :

- À l'entrée du flocculateur, juste après l'injection du poly électrolyte,
- Avant la bande presseuse (super-presse) qui déshydrate les boues,
- Dans la zone où le polymère est bien mélangé aux boues pour garantir un échantillon représentatif. La consommation moyenne de polymère à la STEP de Boumerdes est d'environ 20 kg par jour dans ce processus de déshydratation.



**Figure V.5:** Points de prélèvement de polymère



**Figure V.6 :** Points de prélèvement de Polymère Avant la bande presseuse

## 2.6. Points de prélèvement des boues déshydratée

Le point de prélèvement des boues déshydratée à la station d'épuration (STEP) de Boumerdes se situe à la sortie des équipements de déshydratation des boues, notamment après la bande presseuse ou tout autre dispositif mécanique qui permet d'obtenir des boues à haute teneur en matière sèche. Ces boues déshydratées, souvent à plus de 20-30 % de matière sèche, sont prélevées juste avant leur stockage ou évacuation.

Plus précisément, les prélèvements sont réalisés :

- À la sortie de la bande presseuse (ou équipement équivalent) où les boues épaissies sont déshydratées mécaniquement,
- Dans les zones de stockage temporaire des boues déshydratées avant valorisation ou élimination,
- Sur les conduites ou points de transfert des boues déshydratées vers les zones d'entreposage.

Ces points garantissent un échantillonnage représentatif des boues déshydratée issues du traitement à la STEP de Boumerdes, permettant un contrôle de leur qualité physico-chimique et microbiologique en vue de leur réutilisation ou élimination.



**Figure V.7 :** Points de prélèvement des boues déshydratée

**Conclusion**

Ce chapitre a présenté de manière détaillée les matériels, dispositifs et méthodes utilisés pour la caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux usées traitées à la STEP de Boumerdès. Les protocoles d'analyse standardisés, notamment pour les paramètres essentiels tels que le pH, la DBO<sub>5</sub>, la DCO, les nutriments (azote ammoniacal, nitrates, nitrites, phosphates) et la conductivité, ont été décrits avec précision afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats. De plus, les différents points de prélèvement, couvrant les eaux brutes, les eaux épurées, les boues activées, les boues recirculées, les polymères et les boues déshydratées, ont été localisés et justifiés en fonction de leur rôle dans le suivi et l'optimisation du processus de traitement. Cette démarche rigoureuse permet non seulement d'évaluer l'efficacité globale de la station, mais aussi de garantir le respect des normes environnementales en vigueur, contribuant ainsi à la protection des milieux aquatiques et à la gestion durable des ressources hydriques.

# **CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSION**

**Introduction**

La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture représente une solution durable au problème de pénurie d'eau. Cela ne peut être atteint qu'à condition de s'assurer que l'eau respecte des normes sanitaires et environnementales appropriées. Le chapitre a pointé l'efficacité du traitement et la qualité de l'eau produite, au regard des résultats d'analyse de ces échantillons bruts et traités, obtenus des prélèvements effectués à différentes périodes en 2023-2024, puis comparés à celles autorisées au regard du droit algérien (JORA 2012). L'analyse de ces données vise à préciser l'usage en agriculture de cette eau, sans incidence sur les terres, les cultures et la santé humaine.

**Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux**

➤ **Caractéristiques physico-chimiques des eaux**

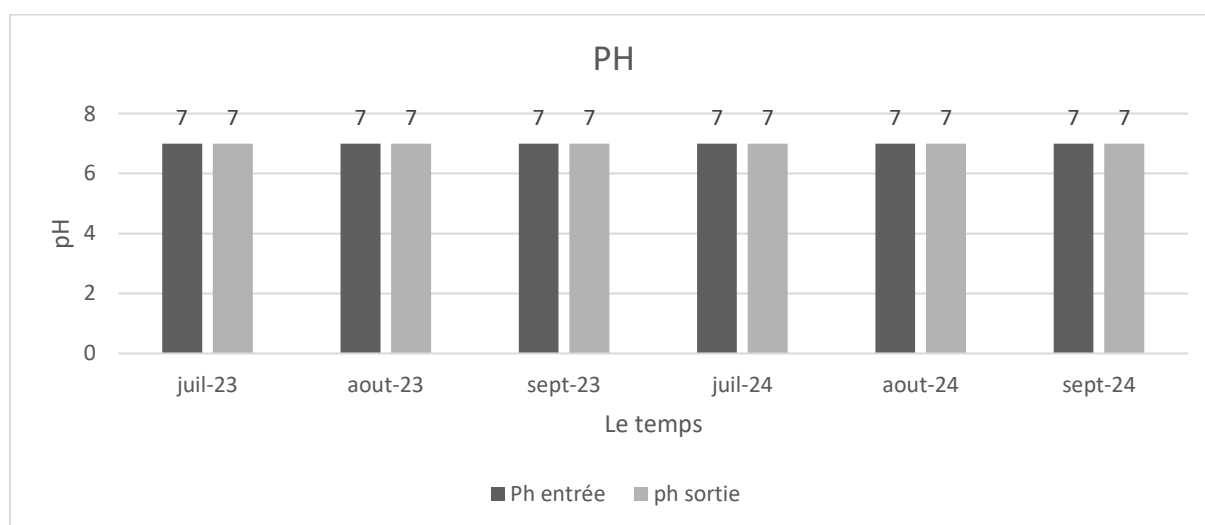
**1. Analyse de potentiel d'hydrogène (pH)**

Les résultats des analyses de pH de l'eau brute et l'eau épurée sont donnés dans le tableau :

<b>pH</b>		
<b>La norme</b>	<b>JORA,2012</b>	
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute <math>6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5</math></b>	<b>L'eau épurée <math>6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5</math></b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

**Tableau VI.1** : Les résultats des analyses de pH de l'eau brute et l'eau épurée

**Variation de pH**



**Figure VI.1:** variation de pH en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les résultats des analyses du pH de l'eau brute et de l'eau épurée pour les années 2023 et 2024 montrent une stabilité parfaite, avec une valeur constante de 7 pour toutes les dates étudiées. Cette valeur neutre montre que le traitement de l'eau n'a pas changé l'équilibre acido-basique ce qui est bon pour l'irrigation. Aucune différence n'est vue entre l'eau brute et l'eau épurée ni entre les deux années, montrant une régularité dans la qualité des eaux examinées.

De plus, toutes les valeurs suivent la règle algérienne JORA 2012 qui met un intervalle bon entre 6,5 et 8,5 pour les eaux faites pour l'irrigation.

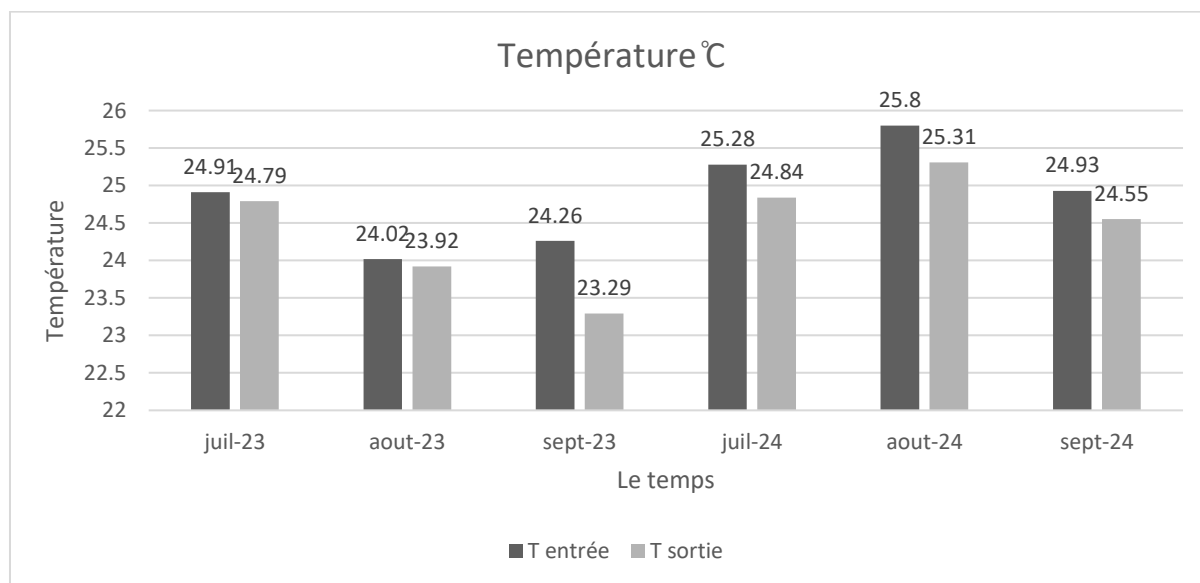
### 2. Les analyses de la température

Les résultats des analyses de la température sont exprimés dans le tableau 02 :

**Tableau VI.2:** les résultats des analyses de la température de l'eau brute et épuré

Paramètres	Température	
<b>La norme</b>	JORA 2012	30 °C
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>24,91</b>	<b>24,79</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>24,02</b>	<b>23,92</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>24,26</b>	<b>23,29</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>25,28</b>	<b>24,84</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>25,80</b>	<b>25,31</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>24,93</b>	<b>24,55</b>

### Variation de la température



**Figure VI.2 :** variation de température en fonction du temps

**Interprétation des résultats**

Les résultats montrent que les eaux épurées sont un peu moins chaudes que les eaux brutes pour toutes les périodes examinées, cela montre qu'il y a eu un petit rafraîchissement dû aux traitements des eaux. En comparant les années, on peut constater une augmentation des températures en 2024 par rapport à 2023, et particulièrement en août pour les eaux brutes qui atteignent 25,80 °C contre 24,02 °C en 2023, ce qui suppose une augmentation probable des températures de l'air. Toutefois et malgré cette augmentation, toutes les valeurs relevées qu'il s'agisse des eaux brutes ou bien des eaux épurées, restent inférieures au seuil de qualité des eaux d'irrigation de 30 °C de JORA 2012, ce qui signifie qu'en 2023 et 2024, la température des eaux traitées est conforme aux exigences réglementaires d'un usage pour l'irrigation.

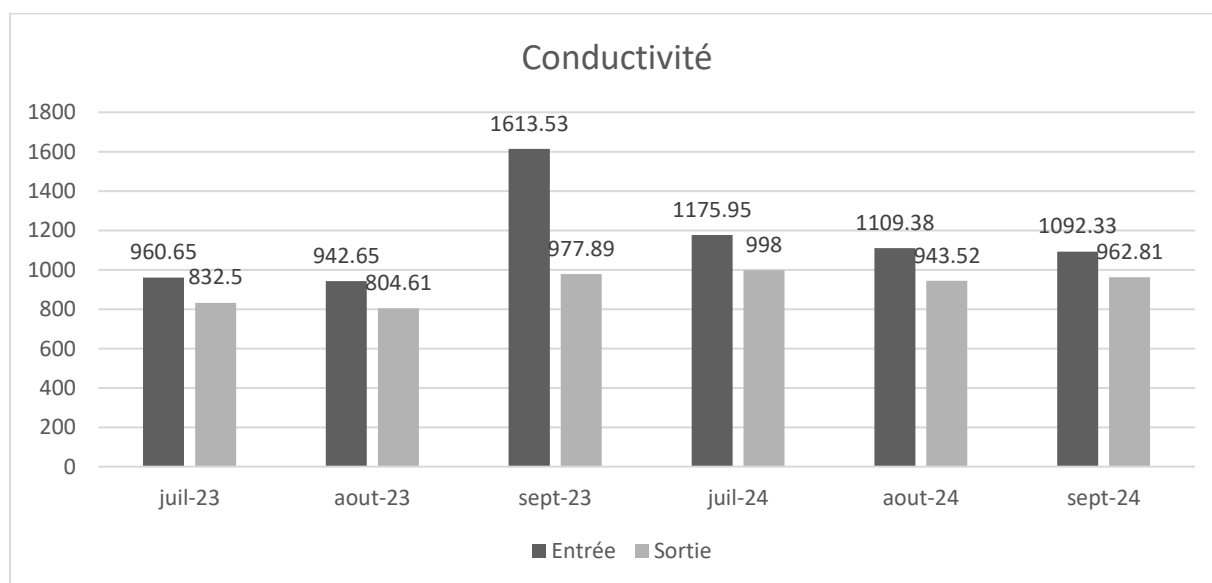
**3. Les analyse de la conductivité électrique (CE)**

Les résultats des analyses de la conductivité électrique (CE) sont exprimés dans le tableau 03 :

**Tableau VI.3** : les résultats des analyses de la conductivité électrique (CE) de l'eau brute et épuré

Paramètres	Conductivité	
La norme	JORA 2012	<3000
Les dates	L'eau brute	L'eau épurée
Juillet 2023	960,65	832,50
Aout 2023	942,65	804,61
Septembre 2023	1613,53	977,89
Juillet 2024	1175,95	998,00
Aout 2024	1108,38	943,52
Septembre 2024	1092,33	962,81

**Variation de la conductivité électrique (CE)**



**Figure VI.3** : variation de conductivité électrique (CE) en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les résultats présentés montrent que la conductivité électrique (CE) de l'eau brute dépasse systématiquement celle de l'eau épurée pour toutes les périodes analysées, ce qui traduit une amélioration après traitement. En 2023, la CE de l'eau brute varie de 942,65 à 1613,53  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tandis que celle de l'eau épurée varie de 504,61 à 977,89  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En 2024, les valeurs augmentent légèrement, avec des pics atteignant 1175,95  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour l'eau brute et 998  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour l'eau épurée. Cette légère hausse en 2024 peut être attribuée à des variations saisonnières ou à une charge polluante plus importante. Malgré ces augmentations, toutes les valeurs de CE restent inférieures à la norme fixée par le JORA 2012 ( $<3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), ce qui signifie que l'eau épurée reste conforme pour une utilisation en irrigation. Ainsi, le traitement des eaux usées permet de réduire efficacement la salinité, assurant une meilleure qualité pour l'irrigation agricole tout en respectant les standards réglementaires.

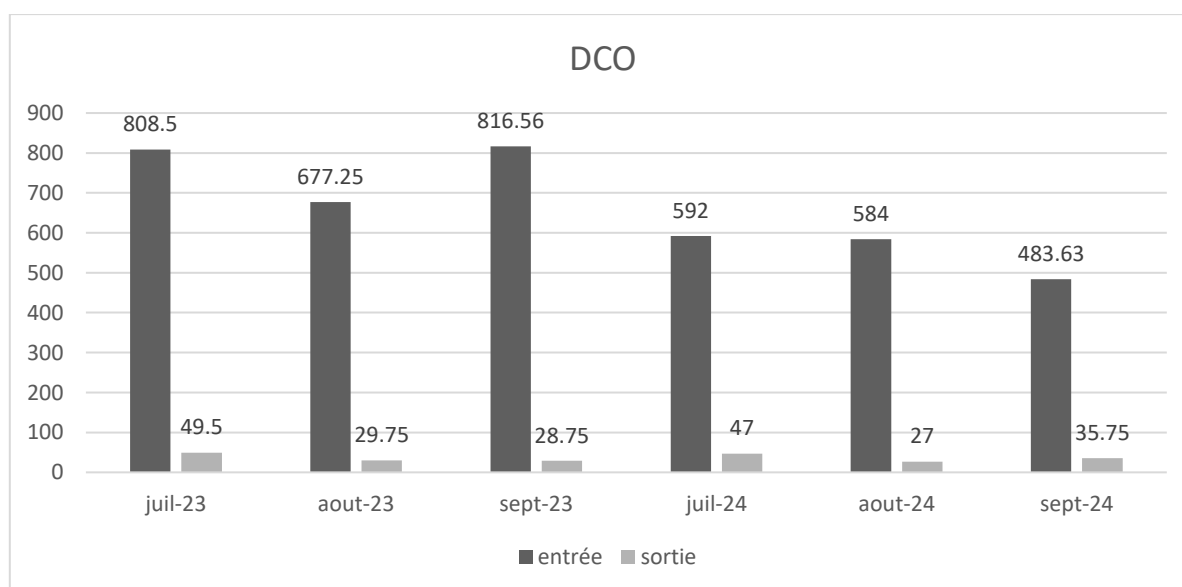
#### 4. Les analyses de la DCO

Les analyses de la DCO sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.4** : les résultats des analyses de la DCO de l'eau brute et épuré

Paramètres	DCO	
<b>La norme</b>	JORA 2012	90 mg/l
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>808,5</b>	<b>49,5</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>677,25</b>	<b>29,75</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>816,56</b>	<b>28,75</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>592</b>	<b>47</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>584</b>	<b>27</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>438,63</b>	<b>35,75</b>

#### Variation de la DCO



**Figure VI.4** : variation de la DCO en fonction du temps

**Interprétation des résultats**

Les résultats présentés dans le tableau et le graphique montrent une importante diminution de la DCO (Demande Chimique en Oxygène) entre l'eau brute et l'eau traitée pour toutes les périodes examinées, ce qui démontre l'efficacité du traitement. En 2023, les valeurs de DCO de l'eau brute varient entre 677,25 et 816,56 mg/l, tandis que celles de l'eau traitée sont beaucoup plus faibles, variant de 28,75 à 49,5 mg/l.

En 2024, les mêmes tendances sont confirmées : la DCO de l'eau brute diminue en général (passant de 592 à 438,63 mg/l), et celle de l'eau traitée reste basse (entre 27 et 35,75 mg/l). Ces valeurs de DCO dans l'eau traitée sont bien en dessous de la norme algérienne JORA 2012 fixée à 90 mg/l pour une réutilisation en irrigation, ce qui indique que l'eau traitée est conforme aux règlements et peut être utilisée en toute sécurité pour l'irrigation agricole. Une amélioration est également observée en 2024 par rapport à 2023, tant en ce qui concerne la qualité de l'eau brute (moins chargée en matières organiques) que la performance des installations de traitement.

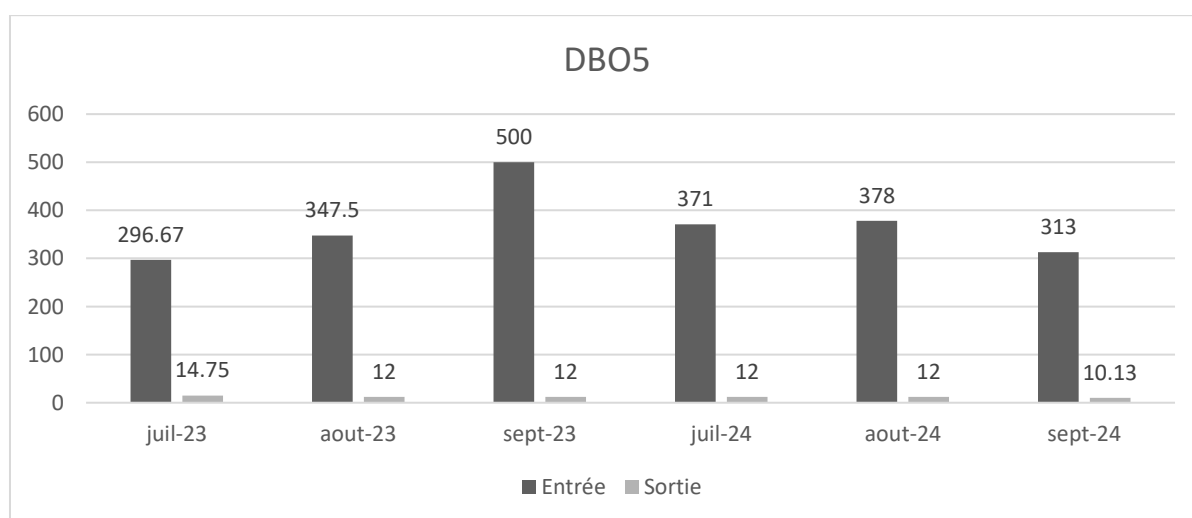
**5. Les analyses de la DBO<sub>5</sub>**

Les analyses de la DBO<sub>5</sub> sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.5** : les résultats des analyses de la DBO<sub>5</sub> de l'eau brute et épuré

Paramètres	DBO <sub>5</sub>	
<b>La norme</b>	JORA 2012	30 mg/l
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>296,67</b>	<b>14,75</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>347,5</b>	<b>12</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>500</b>	<b>12</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>371</b>	<b>12</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>378</b>	<b>12</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>313</b>	<b>10,13</b>

**Variation de la DBO<sub>5</sub>**



**Figure VI.5** : variation de la DBO<sub>5</sub> en fonction du temps

**Interprétation des résultats**

Les résultats de l'analyse de la Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO<sub>5</sub>) montrent une différence significative entre l'eau brute et l'eau traitée, confirmant ainsi l'efficacité du processus de traitement. La DBO<sub>5</sub> de l'eau brute varie de 296,67 mg/l à 500 mg/l, indiquant une charge organique élevée et une qualité initiale non conforme à la norme JORA 2012 pour l'irrigation (30 mg/l). Après traitement, la DBO<sub>5</sub> diminue fortement, se situant entre 10,13 mg/l et 14,75 mg/l, respectant ainsi la norme en vigueur. Les comparaisons des données des années 2023 et 2024 révèlent que l'eau brute de 2023 était plus polluée, avec un pic de 500 mg/l en septembre, alors que les valeurs de 2024, bien que toujours élevées, étaient globalement moins élevées (313 à 378 mg/l).

La qualité de l'eau traitée en 2024 s'est légèrement améliorée par rapport à 2023, avec une nette réduction de la DBO<sub>5</sub> en septembre (10,13 mg/l), démontrant une amélioration du processus de traitement. En dépit d'une importante pollution organique à l'entrée, l'eau traitée reste conforme aux exigences réglementaires algériennes pour une réutilisation en irrigation.

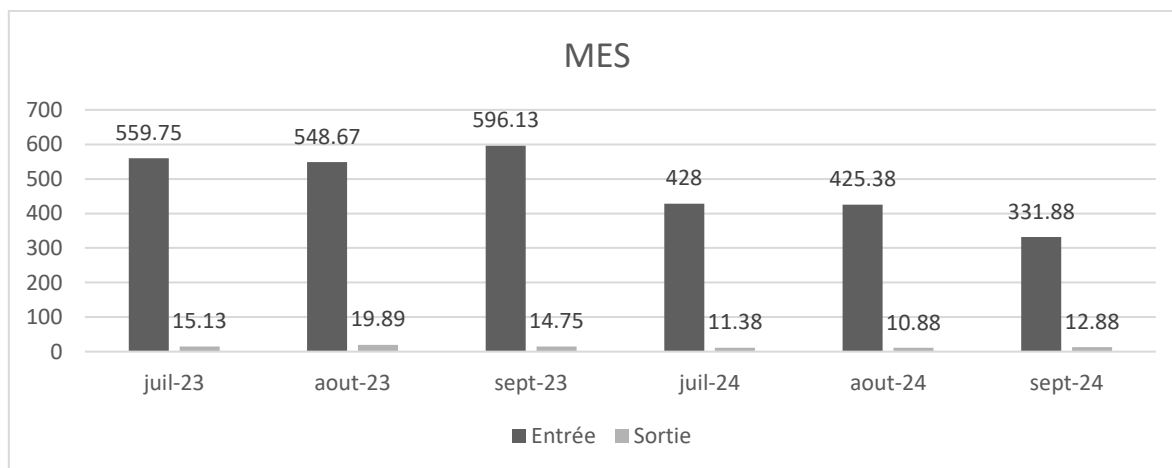
**6. Les matières en suspension (MES)**

Les analyses de MES sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.6** : variation de MES pour l'eau brute et l'eau épurée

Paramètres	MES	
<b>La norme</b>	JORA 2012	30 mg/l
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>559,75</b>	<b>15,3</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>548,67</b>	<b>19,89</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>596,13</b>	<b>14,75</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>428,00</b>	<b>11,38</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>425,58</b>	<b>10,88</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>331,88</b>	<b>12,88</b>

**Variation des matières en suspension**



**Figure VI.6** : variation de MES en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les résultats des analyses de matières en suspension (MES) révèlent une différence significative entre l'eau brute et l'eau épurée, confirmant l'efficacité du traitement. Les niveaux de MES de l'eau brute étaient élevés en 2023, allant de 548,67 à 596,13 mg/l, indiquant une forte présence de particules solides. En 2024, malgré des concentrations toujours importantes (331,88 à 428,00 mg/l), une amélioration a été observée par rapport à l'année précédente. Les niveaux de MES de l'eau épurée sont largement inférieurs à la norme JORA 2012 fixée à 30 mg/l pour l'irrigation, des valeurs allant de 10,88 mg/l à 19,89 mg/l. Une tendance positive a été constatée en 2024, montrant une légère amélioration de la qualité de l'eau et une performance plus constante par rapport à 2023. Malgré une forte pollution initiale, l'eau épurée obtenue respecte les normes réglementaires pour une réutilisation en irrigation.

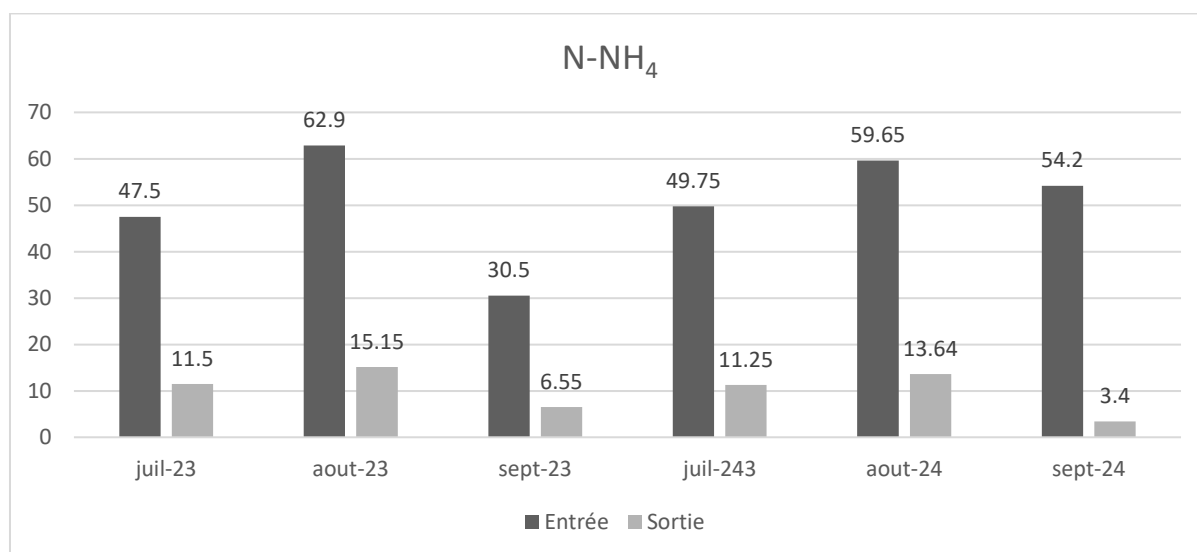
### 7. Les analyses de l'azote ammoniacal N-NH<sub>4</sub>

Les analyses de la N-NH<sub>4</sub> sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.7** : les résultats des analyses de la N-NH<sub>4</sub> de l'eau brute et épuré

Paramètres	N-NH <sub>4</sub>	
<b>La norme</b>	JORA 2012	30 mg/l
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>47,5</b>	<b>11,5</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>62,9</b>	<b>15,15</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>30,50</b>	<b>6,55</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>49,75</b>	<b>11,25</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>59,65</b>	<b>13,64</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>54,20</b>	<b>3,40</b>

### Variation de N-NH<sub>4</sub>



**Figure VI.7** : variation de N-NH<sub>4</sub> en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les dosages d'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) montrent que les teneurs de l'eau brute sont chaque fois supérieures à 30 mg/l, valeur limite pour l'irrigation d'après le JORA 2012, avec des mesures allant de 30,50 à 62,9 mg/l entre juillet 2023 et septembre 2024, alors que l'eau épurée est bien en deçà, avec des valeurs comprises entre 3,40 et 15,15 mg/l, le tout sur chaque période de mesure ; à noter également que les teneurs en N-NH<sub>4</sub> de l'eau brute sont un peu plus importantes en 2024 que l'année passée, mais le traitement reste efficace chaque année pour ramener les teneurs en azote en dessous de la limite réglementaire, rendant l'eau épurée conforme pour l'irrigation

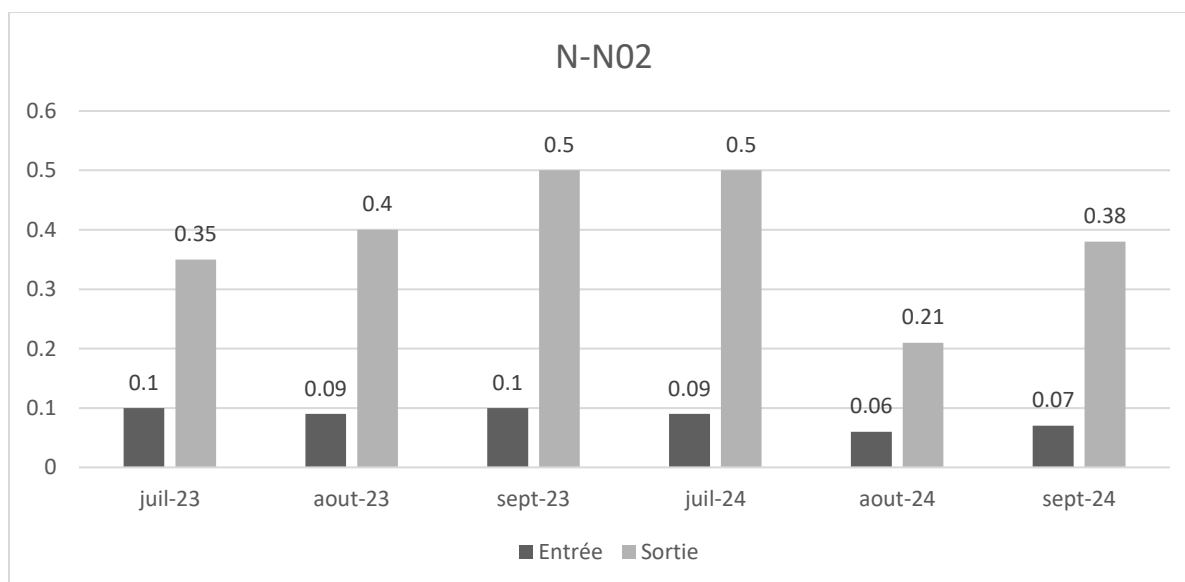
#### 8. Les analyses des nitrites N-NO<sub>2</sub>

Les analyses de la N-NO<sub>2</sub> sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.8** : les résultats des analyses de la N-NO<sub>2</sub> de l'eau brute et épuré

Paramètres	N-NO <sub>2</sub>	mg/l
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>0,10</b>	<b>0,35</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>0,09</b>	<b>0,40</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>0,09</b>	<b>0,50</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>0,06</b>	<b>0,21</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>0,07</b>	<b>0,38</b>

#### Variation de N-NO<sub>2</sub>



**Figure VI.8** : variation de N-NO<sub>2</sub> en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les données du tableau indiquent des concentrations en nitrites (N-NO<sub>2</sub>) généralement plus élevées dans l'eau traitée que dans l'eau brute, à l'exception de septembre 2023 où l'eau traitée affiche une valeur plus faible (0,08 mg/l contre 0,10 mg/l). Cette augmentation des nitrites après traitement suggère une nitrification partielle à l'intérieur de la station d'épuration, où l'ammonium n'est pas entièrement converti en nitrates. En comparant les années, les concentrations en nitrites dans l'eau brute restent relativement stables entre 0,06 et 0,10 mg/l, révélant une charge polluante constante en entrée. En revanche, les concentrations en nitrites dans l'eau traitée montrent une nette augmentation en 2024, notamment en juillet (0,50 mg/l) et septembre (0,38 mg/l), comparées aux valeurs de 2023 (0,35 mg/l et 0,08 mg/l respectivement), suggérant un possible dysfonctionnement du traitement biologique dû à des facteurs tels qu'une surcharge organique, une aération insuffisante ou des conditions environnementales défavorables. Cette situation peut compromettre la qualité de l'eau traitée, en particulier pour son utilisation en irrigation, en raison de la toxicité des nitrites pour les plantes et les organismes vivants.

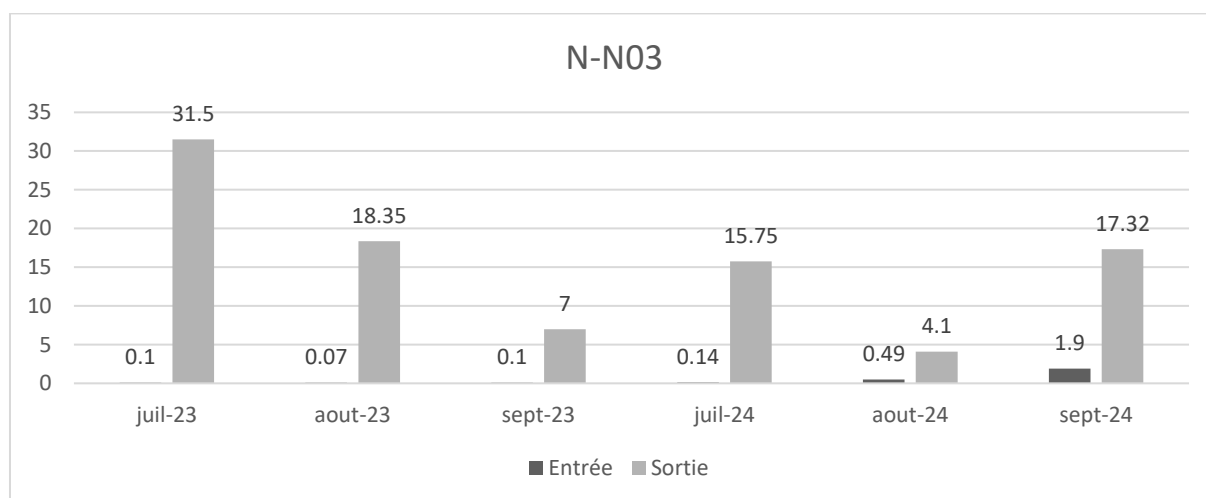
#### 9. Les analyses des nitrates N-NO<sub>3</sub>

Les analyses de la N-NO<sub>3</sub> sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.9** : les résultats des analyses de la N-NO<sub>3</sub> de l'eau brute et épuré

Paramètres	N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	
	L'eau brute	L'eau épurée
<b>Juillet 2023</b>	<b>0,10</b>	<b>31,5</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>0,07</b>	<b>18,35</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>0,10</b>	<b>7,00</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>0,14</b>	<b>15,75</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>0,49</b>	<b>4,10</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>1,90</b>	<b>17,32</b>

#### Variation de N-NO<sub>3</sub>



**Figure VI.9** : variation de N-NO<sub>3</sub> en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Si on compare les analyses de N-NO<sub>3</sub> de l'eau brute par opposition à celle de l'eau traitée pour les années 2023 et 2024, on peut noter de fortes différences. En 2023, la teneur en nitrates de l'eau brute est très faible (allant de 0,07 à 0,10 mg/l), alors que celle de l'eau épurée atteint des niveaux bien plus importants (allant de 7,00 à 31,5 mg/l). En 2024, la teneur en nitrates de l'eau brute augmente légèrement durant la période estivale, passant de 0,14 mg/l en juillet à 1,90 mg/l en septembre. Cependant, pour l'eau épurée, les valeurs s'étalent de 4,10 à 17,32 mg/l, restant toujours nettement supérieures à celles de l'eau brute. En comparant l'eau brute (entrée) à l'eau épurée (sortie), on constate que le traitement n'a pas permis de diminuer la concentration en nitrates. Au contraire, la teneur en N-NO<sub>3</sub> des eaux issues de la station d'épuration était bien plus élevée qu'à l'entrée sur la station du moins pour les années 2023 et 2024, suggérant un apport et/ou la transformation de nitrates par les procédés utilisés pour le traitement.

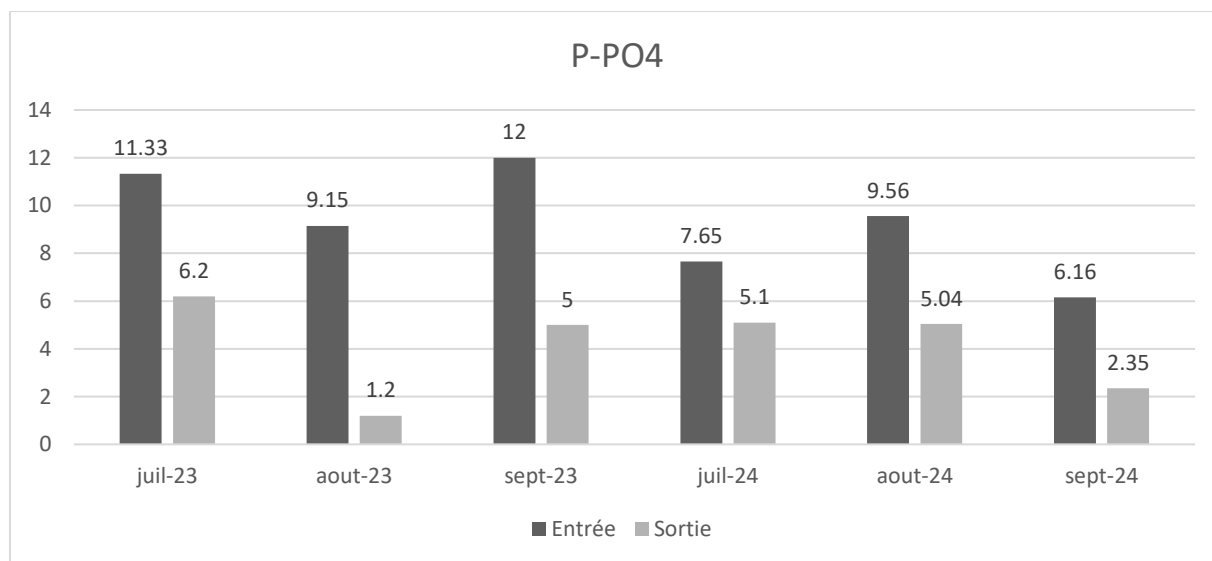
### 10. Les analyses de phosphate

Les analyses de la P-PO<sub>4</sub> sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.10** : les résultats des analyses de la P-PO<sub>4</sub> de l'eau brute et épuré

Paramètres	P-PO <sub>4</sub> (mg/l)	
<b>La norme</b>	JORA 2012	<b>2 (mg/l)</b>
<b>Les dates</b>	<b>L'eau brute</b>	<b>L'eau épurée</b>
<b>Juillet 2023</b>	<b>11,33</b>	<b>6,2</b>
<b>Aout 2023</b>	<b>9,15</b>	<b>1,20</b>
<b>Septembre 2023</b>	<b>12,00</b>	<b>5,00</b>
<b>Juillet 2024</b>	<b>7,65</b>	<b>5,10</b>
<b>Aout 2024</b>	<b>9,56</b>	<b>5,04</b>
<b>Septembre 2024</b>	<b>6,16</b>	<b>2,35</b>

### Variation de P-PO<sub>4</sub>



**Figure VI.10**: variation de P-PO<sub>4</sub> en fonction du temps

## Interprétation des résultats

Les résultats des analyses de P-PO<sub>4</sub> révèlent des émissions qui dépassent largement la norme JORA 2012, qui se limite à 2 mg/l. En effet, dans l'eau brute, ces taux varient de 6,16 mg/l en septembre 2024 de à 12,00 mg/l en septembre 2023, et dans l'eau traitée, ils passent à des taux relativement plus raisonnables, bien qu'ils soient souvent encore élevés par rapport à la limite susmentionnée de 2,00 mg/l. Ces concentrations peuvent entraîner une eutrophisation des sols en termes de prolifération d'algues et de baisse de l'oxygène dissous, compromettant la biodiversité et la qualité du sol pour l'irrigation.

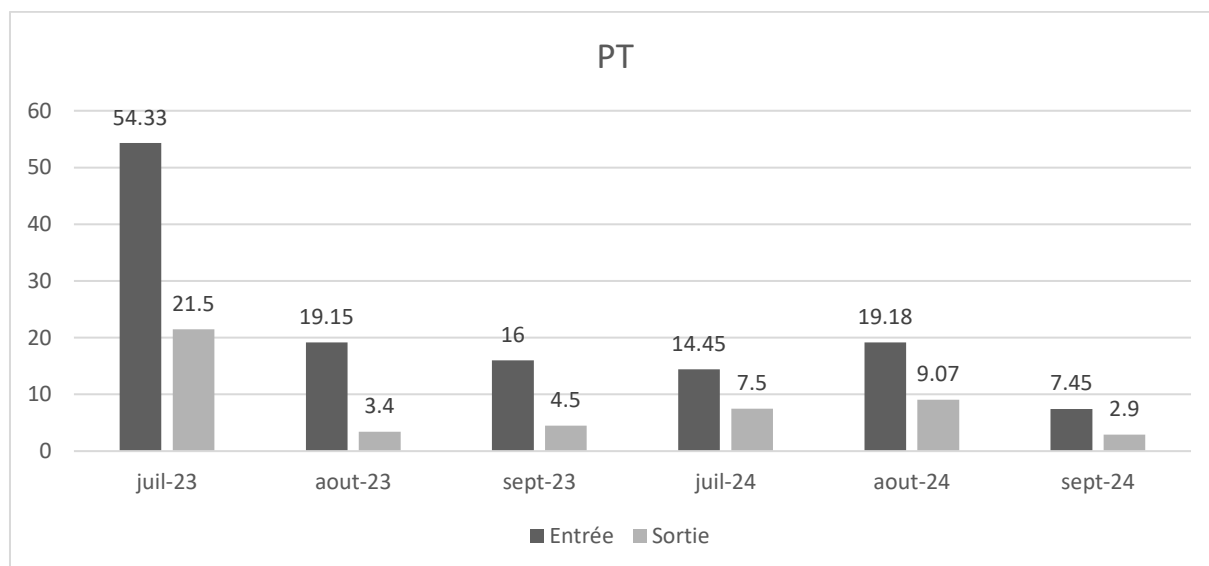
### 11. Les analyses de phosphore total

Les analyses de PT sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.11** : les résultats des analyses de la N-NO<sub>2</sub> de l'eau brute et épuré

Paramètres	PT	
La norme	JORA 2012	10 (mg/l)
Les dates	L'eau brute	L'eau épurée
Juillet 2023	54,33	21,5
Aout 2023	19,15	3,40
Septembre2023	16,00	4,50
Juillet 2024	14,45	7,50
Aout 2024	19,18	9,07
Septembre 2024	7,45	2,90

### Variation de PT



**Figure VI.11:** variation de PT en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les analyses de PT montrent des valeurs étonnement hautes, excédant largement le seuil réglementaire de 10 mg/l dans l'eau non traitée, on parle même de pics à 54,33 mg/l en juillet 2023, et un infime 7,45 mg/l en septembre 2024. Malgré le traitement, l'eau épurée garde des niveaux notables, bien que réduits, culminant à 21,5 mg/l en juillet 2023. C'est vraiment beaucoup de phosphore qui, à long terme, pourrait saturer les sols, détériorer leur fertilité, et surtout, freiner la croissance des cultures en gênant l'accès aux nutriments dont elles ont besoin.

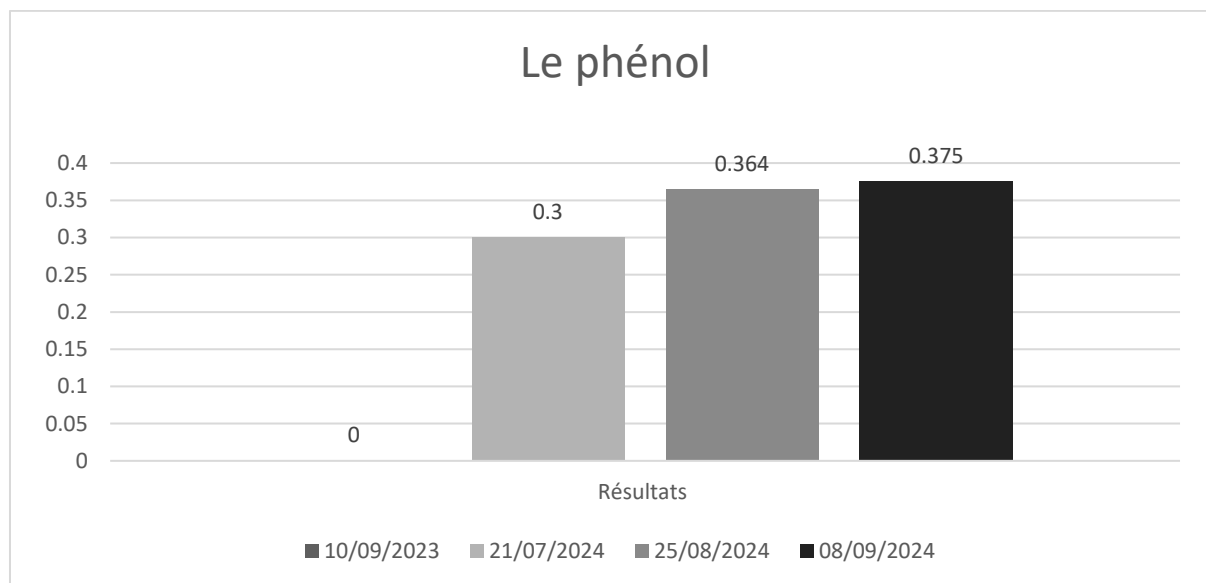
### 12. Les analyses de phénol

Les analyses de phénol sont présentes dans le tableau suivant :

**Tableau VI.12** : les résultats des analyses de phénol de l'eau brute et épuré

Paramètres	
<b>La norme</b>	<b>JORA 2012 0.002 (mg/l)</b>
<b>Les dates</b>	<b>Résultats de phénol</b>
<b>10/09/2023</b>	<b>0</b>
<b>21/07/2024</b>	<b>0,3</b>
<b>25/08/2024</b>	<b>0,364</b>
<b>08/09/2024</b>	<b>0,375</b>

### Variation de de phénol



**Figure VI.12:** variation de phénol en fonction du temps

### Interprétation des résultats

Les résultats qu'on a présentés montrent une augmentation notable des niveaux de phénol dans l'eau entre septembre 2023 et septembre 2024. Pour vous donner une idée, la concentration de phénol était de zéro le 10 septembre 2023 (0 mg/l), mais elle a grimpé à 0,3 mg/l le 21 juillet 2024, puis à 0,364 mg/l le 25 août 2024, et enfin à 0,375 mg/l le 8 septembre 2024. En fait,

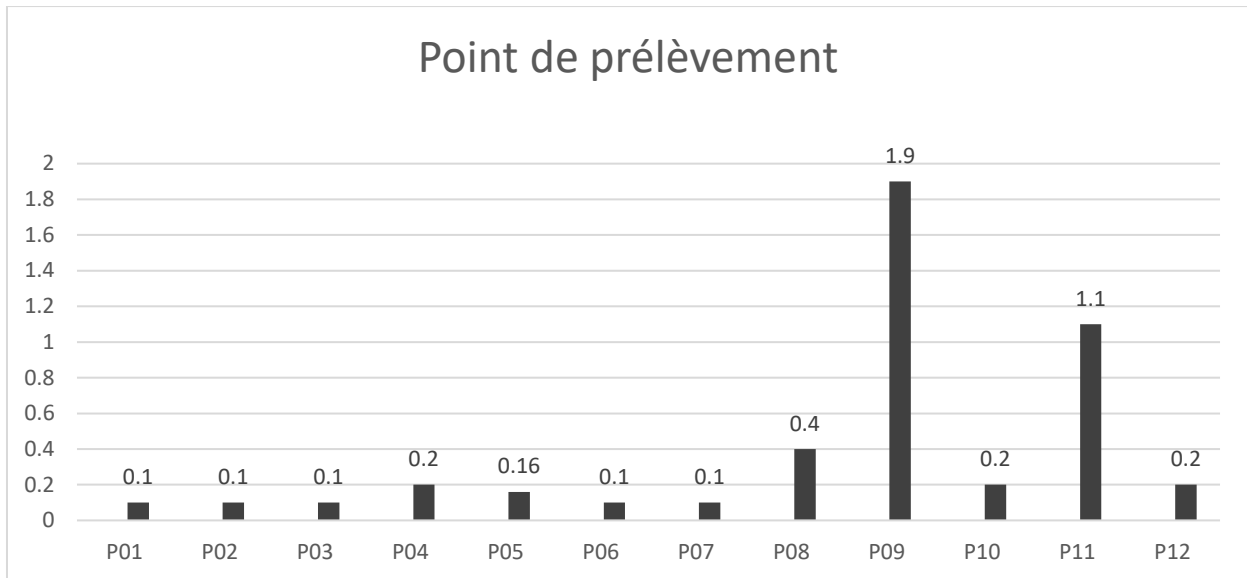
selon la norme algérienne JORA 2012, la concentration maximale autorisée de phénol dans les eaux pour l'irrigation est de 0,002 mg/l. Donc, tous les résultats après septembre 2023 dépassent cette limite de manière très préoccupante : dès juillet 2024, on mesure des niveaux plus de 150 fois plus élevés que la norme.

Cette tendance révèle une contamination continue et incontrôlée par des composés phénoliques, probablement issus d'activités industrielles ou domestiques, ce qui compromet sérieusement la qualité de l'eau. Un taux de phénol aussi élevé peut avoir des effets nocifs sur les plantes, détériorer la qualité des sols et représenter un risque pour la santé humaine, que ce soit par bioaccumulation ou à travers la chaîne alimentaire. En résumé, l'eau qu'on a analysée n'est plus conforme aux exigences de la réglementation nationale pour l'irrigation, ce qui met en avant l'urgence de mettre en place des mesures de traitement appropriées ou de surveiller les rejets polluants.

### 13. Les analyses – arrêté interministériel

**Tableau VI.13** : Résultats des analyses – arrêté interministériel du 8 safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Point de prélèvement	Résultats Mg/l	Valeur limites Mg/l	Normes d'analyses
<b>P01 : Station de relevage SR4</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,002</b>	<b>ISO 6439 : 1994</b>
<b>P02 : Station de relevage SR6</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,002</b>	
<b>P03 : Station de relevage SR5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,002</b>	
<b>P04 : Station de relevage ONA SR7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,002</b>	
<b>P05 : Station de relevage ONA SR1</b>	<b>0,16</b>	<b>0,002</b>	
<b>P06 : Station de relevage ONA SR3</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,002</b>	
<b>P07 : Station de relevage ONA SR2 Corso</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,002</b>	
<b>P08 : ONA Collecteur Stade P8 Cité Aldar</b>	<b>0,4</b>	<b>0,002</b>	
<b>P09 : P9 Collecteur principal Ville Boumerdes (Jardin 21 Mai)</b>	<b>1,9</b>	<b>0,002</b>	
<b>P10 : ONA P10 Collecteur Gravitaire</b>	<b>0,2</b>	<b>0,002</b>	
<b>P11 : Collecteur Gravitaire STEP Boumerdes</b>	<b>1,1</b>	<b>0,002</b>	
<b>P12 : STEP Boumerdes eau épuré</b>	<b>0,2</b>	<b>0,002</b>	

**Variation de point de prélèvement :**

**Figure VI.13:** variation des pointes de prélèvement de phénol dans les station de relevage et les collecteurs principaux

**Interprétation des résultats**

Les données issues des examens de phénol à chaque point de prélèvement indiquent que toutes les eaux sont sévèrement contaminées, excédant de loin la norme permise de 0,002 mg/l. Les valeurs des points SR4, SR6, SR3 et SR2 sont inférieures à 0,1 mg/l, cependant elles ne respectent toujours pas les normes. Les points SR5, SR7, SR1, P10 et la STEP de Boumerdes montrent une pollution importante avec des niveaux variant entre 0,1 et 0,2 mg/l. Le point P8 enregistre 0,4 mg/l, et le point P9 – situé à proximité d’une industrie spécialisée dans la fabrication de gazon artificiel – affiche la situation la plus préoccupante avec 1,9 mg/l, soit 950 fois le seuil limite. Ces deux points (P8 et P9) suggèrent un lien probable avec les rejets industriels de cette activité. Le collecteur gravitaire de la station d’épuration indique quant à lui 1,1 mg/l. Ces niveaux révèlent une contamination étendue et une inefficacité du système de traitement en place, rendant ces eaux totalement impropres à l’irrigation en raison de leur toxicité pour les plantes, les sols et les risques pour la santé humaine.

### ➤ Caractéristiques microbiologiques des eaux

Le tableau suivant présente les analyses microbiologiques des eaux usées épurées

**Tableau VI.14:** les analyses microbiologiques des eaux usées épurées

Paramètres	Résultats	Valeur limites	Unités	Méthode
<b>Coliforme totaux</b>	50.10 <sup>2</sup>	Absence ou présence	UFC/ml	NA 764
<b>Œuf d'helminthes</b>	7 Œuf/L	<1 Œuf/L	Œuf/L	Concentration et énumération sur lame
<b>Coliforme fécaux</b>	100 colonies	<1000	UFC/ml	NA 764

### Interprétation des résultats

Les résultats des analyses microbiologiques des eaux usées épurées indiquent une non-conformité par rapport aux normes établies. Le taux de coliformes totaux est de  $50 \times 10^2$  UFC/ml, ce qui révèle une présence significative de contamination bactérienne, alors que la norme exige leur absence. En outre, la concentration en œufs d'helminthes est de 7 œufs/L, soit plus de 1 œuf/L, ce qui signifie un potentiel de risque pour la santé. Cependant, le nombre de coliformes fécaux est de 100 colonies UFC/ml, soit moins que le nombre maximal permis de 1000 UFC/ml, ce qui signifie qu'il y a une conformité partielle à ce niveau. En fin de compte, la qualité microbiologique de l'eau purifiée n'est pas suffisante pour un usage sûr.

### Interprétation générale des résultats

Dans l'ensemble, tous les résultats des paramètres obtenus montrent que les EUT sont de qualité physicochimique et microbiologique acceptables pour une réutilisation en irrigation, et ceci selon les normes algériennes JORA, 2012. En fait, le pH, la température, la conductivité électrique, la DCO, la DBO5, les MES et  $\text{NH}_4^+$  ont tous été considérablement réduites après le traitement enregistrant dans tous les cas des valeurs toujours inférieures aux seuils des normes, ce qui montre l'efficacité du procédé de traitement susmentionné. Par ailleurs, certaines anomalies ont été notées pour certains composés azotés. En effet, les EUT ont présenté parfois une augmentation post-traitement des nitrates, des nitrites ainsi qu'en phosphate degré, TP, mais en particulier des MES, du phénol, avec des valeurs dans ce dernier cas dépassant largement les seuils maximums autorisés, ce qui peut constituer un risque pour les sols, les cultures et la santé humaine. Dans l'ensemble, donc, ces résultats indiquent que les eaux usées traitées ne font pas la santé. La qualité microbiologique, dont les œufs d'helminthes et les coliformes totaux, reste un domaine de préoccupation. Ainsi, bien que les eaux traitées aient pour la plupart satisfait aux normes et qu'il soit possible de les utiliser dans l'agriculture, il est important de renverser les tendances pour une réutilisation plus durable.

**Conclusion**

De l'eau usée traitée, que les analyses effectuées portant sur les paramètres physiques et chimiques ont montré en bonne qualité pour presque tous les indicateurs en précisant des valeurs très inférieures aux seuils de qualité exigés pour les eaux d'irrigation (faibles concentrations ou valeurs de matière organique, solides en suspension, azote ammoniacal) à quelques exceptions notées pour la concentration supérieures en phénol, phosphate et nitrates, ou pour quelques indicateurs microbiens qui apparaissent parfois hors normes. Dans l'ensemble, bien que satisfaisante cette qualité du rejet d'eaux usées nécessite toutefois d'un suivi continu et pourra, si réglée, permettre l'utilisation de cette eau dans les pratiques agricoles. Dès lors, la réutilisation des eaux usées apparaîtrait bien comme une alternative utilisable, à condition de respecter les normes et de procéder aux corrections identifiées.

## **Conclusion générale**

Dans un contexte mondial de raréfaction des ressources en eau, aggravé par le changement climatique et la croissance démographique, la réutilisation des eaux usées traitées s'impose aujourd'hui comme une stratégie incontournable pour assurer la sécurité hydrique, en particulier dans le secteur agricole. Ce dernier représente, en Algérie comme ailleurs, la principale source de consommation d'eau.

Ce travail a porté sur l'évaluation des performances de la station d'épuration de l'ONA à Boumerdès, dans la perspective de la réutilisation des eaux traitées à des fins d'irrigation. L'analyse physico-chimique et bactériologique a révélé une amélioration notable de la qualité de l'eau sur plusieurs paramètres classiques, notamment la DBO5, la DCO, les MES et le pH. Ces résultats témoignent de l'efficacité globale de la station dans le traitement des eaux usées domestiques.

Cependant, la présence résiduelle de micropolluants, et en particulier du phénol — un composé organique toxique même à très faibles concentrations — soulève des préoccupations majeures. Ce polluant a été détecté dans les eaux traitées en raison de rejets non conformes provenant d'une usine industrielle de fabrication de gazon synthétique. Cette industrie rejette ses effluents dans le réseau d'assainissement sans traitement préalable, surchargeant ainsi la station d'épuration avec des composés qu'elle n'est pas conçue à traiter. Cela compromet sérieusement la qualité finale de l'eau, la rendant inadaptée à une réutilisation directe dans l'irrigation sans traitement complémentaire.

Cette situation met en évidence plusieurs limites structurelles et organisationnelles. Sur le plan technique, la station est principalement conçue pour traiter les eaux usées domestiques, et non les effluents industriels chargés en composés chimiques spécifiques. Sur le plan réglementaire, l'absence de mesures de contrôle rigoureuses à l'entrée des stations permet à des sources industrielles de contourner les normes. Sur le plan environnemental, l'impact potentiel de ces micropolluants sur les sols, les cultures et la santé humaine ne peut être ignoré.

Ainsi, pour garantir une réutilisation sûre et conforme des eaux usées traitées dans l'irrigation, plusieurs actions s'imposent :

L'obligation de traitement primaire et/ou tertiaire à la source pour toute activité industrielle susceptible de générer des micropolluants.

- L'installation de procédés de traitement tertiaire à la station (UV, charbon actif, oxydation avancée) pour éliminer les composés résiduels.
- Le renforcement de la législation et de la surveillance des réseaux d'assainissement mixtes (domestique + industriel).
- La mise en place d'un système de traçabilité et d'alerte rapide en cas de pollution anormale.

En conclusion, bien que la station ONA de Boumerdès démontre une performance satisfaisante dans le traitement classique des eaux usées, son adaptation aux défis de la pollution industrielle constitue une priorité. La transition vers une gestion intégrée et durable des eaux usées ne peut se faire sans une coordination efficace entre les acteurs techniques, institutionnels et industriels. Seule une approche globale et anticipative permettra de faire de la réutilisation des eaux usées une solution fiable pour l'avenir agricole et environnemental de l'Algérie

## Références bibliographiques

ADEME, 1994 : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Ecole nationale vétérinaire de Nates, ministère de l'agriculture et de la pêche, Ecole nationale de la santé publique (ENSP). Les germes pathogènes dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, cruide et cahiers techniques (connaitre pour agir), aout 1994, 89 pages.

ADEME, 2009 : Organisation et fonctionnement d'une station d'épuration.

AFD. (2011) : Réutilisation des eaux usées traitées. Perspectives opérationnelles être commandées pour l'action. France, AFD.

Algérie. (2007) : Décret exécutif n° 07-149 du 23 mai 2007 fixant les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation. Journal officiel n° 35.

AQUASTAT. 2014 : Superficie équipée pour l'irrigation. Infographie. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

ATTAB.S, (2011) : Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local, Mémoire de magister en biologie, université KASDI MERBAH-Ouargla, 106 pages.

B rissaud, F. 2007 : Gestion et traitement les eaux usées industrielles. Editions Tec & doc.

BELAHAMDI Mohamed Seddik Oussama, << étude de la biodégradation du 2.4 – dechlorophénol par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'IBN ZIAD >>, Mémoire de magister en microbiologie appliquée et biotechnologie microbienne, Université Mentouri 16 juin 2004.

BELAID, 2011 : Évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, 5-26.

Ben Khalfallah, R.2020 septembre 30 : Automatisation d'un système d'irrigation [Mémoire Master Université Mohamed Khuder de Biskra Faculté des sciences et de la technologie, Département de génie électrique.

Benzzine (n.d), Chapitre III : Les techniques d'irrigation.

BITTON, G.2005: Waste water microbiologique, (3rd. Ed.). Wiley- Liss.

Bourrier, R., Satin, M., Selmi, B. 2017, Guide technique de l'assainissement, 5e éd- Paris : Editions le Moniteur.

Boutin, C., et al. 2009 : Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux usées. In : Reuse of treated waste water : an overview of the global situation (pp. 345-367). Springer.

BOUZIDI, Y. 2012 : Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie. Mémoire de Master en Génie Civil & Hydraulique, spécialité Hydraulique et technique des eaux. Université de Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Civil et Hydraulique. Sous la direction de Dr BEB Messaouda.

Brouwer, c. Prins, K, Kay, M, & Heibloem, M.1990 : Gestion des eaux en irrigation ; Manuel de formation n°5- méthode d'irrigation. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Division de la mise en valeur des terres et des eaux.

Chow, V. T (1964) Hand book of applied Hydrology. M Graw- Hill.

CORNEL, P., & SECHAUM, G. 2009 : Phosphorus recovery from waste water : Needs, technologies, and costs. Water science & technology, 59(6), 10696-1076.

Couture, I. 2004 : Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie - Est. AGRI - VISION 2003-2004.

Degremont, 1989 : Mémento technique de l'eau usée, tome I, édition cinquantenaire : Lavoisier, Paris (France).

DEGREMONT, J.1989 : Mémento technique de l'eau. Paris : Lavoisier.

DEKHIL, S.W.2012 : Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bouarreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA. Université Mohamed El Bachir L'Ibrahimi, Algérie.

DERONZIER, G., DUCHÈNE, P.1997

Deronzier, G., Scheérite, S., Racault, Y., Canler, J.-P., Liénard, A., Héduit, A., & Duchéne, P. 2001. Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités (2e éd.). Document technique FNDAE n° 25. Ministère de l'agriculture et de la Pêche/ Cemagref Editions. ISBN : 2-11-092852-2 ; 2-85362-555-9.

Dufourcq, T., & Caboulet, D. 2016 : Qualité de l'eau et entretien du système d'irrigation. Dans O. Zébic (éd.), Guide pratique de viticulture innovante (en collaboration avec l'Anivim de France). Paris : Dunod.

Ecosources - irrigation, technique d'arrosage et gestion de l'eau. [Photographie].

FABY, J., et al. 1997 : Gestion et réutilisation des eaux usées dans le méditerranéen. Revue des Sciences de l'eau, 10(2), 169-181.

FAO (2010) : Water pollution from agriculture : A global review. Rome : organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAO. (2010). La réutilisation des eaux usées en agriculture : avantages et risques. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAO. 2010 : La réutilisation des eaux usées en agriculture : avantage et risque organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Food and Agriculture Organisation of the United Nations. (2010). Wastewater treatment and use in agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47). FAO.

Fuller GW, 1912 : Board Irrigation in sewage disposal. New York, Mc Graw-Hill.

GAID, A., 1984 : GAID Abdelkader, Epuration biologique des eaux usées urbaines Tome 1, Mai 1984.

Guerée & Gomella, 1982 : Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. 1- La collecte (2e éd.). Paris : Eyrolles.

HENZE, M. et al., 2008 : Henze, M., Van Loosdrecht, M. C. M., Ekamas, G.A, & Brdjanovic, D. 2008. Biological waste water treatment : principales, Modelling and disign. IWA Publishing.

JORA. (2012) : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (41), Dimanche 25 Chaâbane 1433, Correspondant au 15 juillet 2012. Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Luca R, 2004. Modél.

Juanico M, 1999 : Réservoirs pour le stockage et la réutilisation des eaux usées, écologie. Performance et conception technique.

LACHACHE, A., & BOUDJENAH-HAROON, S. (s.d.) : Lachache, A., & Boudjenah-Haroun, S. (s.d.) : Étude de la qualité chimique des eaux d'irrigation : cas de la région de Quargla. Université Kasdi Merbah Quargla, faculté des Sciences de la nature et de la vie, Laboratoire de Recherche sur la Phoeniciculture.

LADJEL, FARID. Exploitation d'une station à boue activée, centre de formation aux métiers de l'assainissement CFMA, office national de l'assainissement ONA, Boumerdes.

LAZAROVA, V., & BRISSAND, F. 2007: Lazarova, V., & Brissand, F. 2007 Recycling of treated water for irrigation : The challenges of safety, health, and the environnement. Journal of Environmental Management, 85(3), 435-441.

Maji Solutions. 2021 : Réutilisation des eaux usées en agriculture. Maji Solutions. <https://maji-solutias.com/fr/réutilisation-des-eaux-usées-on-agriculture/>.

- Mara, D., et S. Cairncross. 1991. Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture. Genève : Organisation mondiale de la santé, 212 p.
- Mateo-Sagasta et al. 2015 : Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. et Thebo, A. 2015. Production, traitement et utilisation des eaux usées et des boues à l'échelle mondiale. P. Drechsel, M. Qadir et D. Wichelns, Wastewater: Economic Asset in Urbanizing World. Springer Pays-Bas.
- MERABETBAGHLI et al. 2020 : 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 R 2020.
- METAHRL M. S, (2012) : METAHRL M. S, (2012) : Élimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par procédés mixtes cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou, Thèse de doctorat en génie des procédés, 136 pages.
- METCALF & EDDY, 2014, Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery (5<sup>th</sup> d.). Mc Graw-Hill.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DU DEVELOPPEMENT RURAL ET DES EAUX ET FORETS. 2002 : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts. 2002 : Normes marocaines de qualité des eaux destinées à l'irrigation (NMo3.7.001). Rabat, Maroc.
- Molle, B., et al. 2010 : Gestion et traitement des eaux usées agricoles. Editions Lavoisier.
- MRE 2012 : MRE, 2012 : Enquête : Actualisation de l'inventaire du réseau national d'assainissement. 2012.
- NRIAGU, J.O.1996: NRIAGU, J.O.1996: A History of global métal pollution. Science, 272(5259), 223-224.
- OGLEOgle, D. 2000 : Surface irrigation de system using siphon tubes [photographie].
- ONA, 2023 : Ministère des ressources en eau et de la sécurité hydrique, 2022.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. 2006 : Organisation mondiale de la santé. 2006 : Lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.
- Organisation mondiale de la santé. 1987 : Lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.
- PCA Water : PCA water. Nitrification et dénitrification.
- OULEBSIR RAFIK, élaboration d'un dash-board par data-mining pour le bencharking des STEP, USTHB, 2020.
- REJSEK, F. 2002 : Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques.

Rodier, J ; 2009 : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9e édition, Dunod.

RODIERL, 2005 L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, Ed. Dunod, Paris, 8ème édition.

S. BAUMONT et al. 2004 : Samuel Baumont, Jean-Philippe Camard, Agnès Lefranc, Isabelle Gremy (ORS) et Antoine Franconi (IAURIF).

Satin & Selmi, 2006 : Guide technique de l'assainissement. 3e éd. Paris : Le Moniteur Éditions.

Suez. (S.d.) : Réutilisation des eaux usées. SUEZ Water Handbook.

Tabet. M. 2015 : Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration.

TADJER, A. 2022 : Modélisation et simulation des processus biologiques dans les stations d'épuration des eaux usées (Mémoire de master). Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene Alger.

Templeton and Butler (2011): Templeton, M.R., Butler, D., 2011. An Introduction to wastewater treatment. Spon press, United Kingdom.

UNEP. 2021 : United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief. United Nations.

WHO, 2006: Guide technique de l'assainissement. 3e éd. Paris : le Moniteur Editions.

« Vérification de la vitesse horizontale dans les chenaux d'épuration pourvus d'un système d'insufflation d'air », TSM (Techniques, sciences et méthodes), n° 3, 1997, p. 35-4

LES ANNEXES

Annexes N°01 : Journal officiel de la république Algérienne N°41

25 Chaabane 1433  
15 juillet 2012

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41

**Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.**

-----

Le ministre des ressources en eau,  
Le ministre de l'agriculture et du développement rural,  
Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la normalisation ;

Vu le décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ;

**Arrêtent :**

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 15 du décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer la liste des cultures autorisées pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées conformément à l'annexe jointe.

Art. 2. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012.

Le ministre  
des ressources en eau  
Abdelmalek SELLAL

Le ministre de l'agriculture  
et du développement rural  
Rachid BENAÏSSA

Le ministre de la santé,  
de la population et de la réforme hospitalière  
Djamel OULD ABBES

25 Chaâbane 1433  
15 juillet 2012

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41

19

ANNEXE  
SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES  
UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION

## 1. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

→ Suivant les analyses microbiologiques

- (1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.
- (2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.
- (3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.
- (4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.
- (6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

## 2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES

PARAMETRES		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		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl) ✓	meq/l	10
	AZOTE (NO3 - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium ✓	mg/l	0.05
	Chrome ✓	mg/l	1.0
	Cobalt ✓	mg/l	5.0
	Cuivre ✓	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer ✓	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb ✓	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel ✓	mg/l	2.0
Sélénium	mg/l	0.02	
Vanadium	mg/l	1.0	
Zinc ✓	mg/l	10.0	

(\*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

**MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU**

**Arrêté interministériel du 23 Chaâbane 1432 correspondant au 25 juillet 2011 portant déclaration d'utilité publique l'opération d'expropriation relative au renforcement en eau potable du centre de Sidi Khelifa, wilaya de Mila.**

Le ministre de l'intérieur et des collectivités locales,  
Le ministre des finances,  
Le ministre des ressources en eau,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Jomada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 93-186 du 27 juillet 1993, complété, déterminant les modalités d'application de la loi n° 91-11 du 27 avril 1991, complétée, fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique notamment son article 10 ;

Vu l'arrêté n° 1130 du 5 août 2007 du wali de la wilaya de Mila portant ouverture de l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique ;

Vu l'arrête n° 1566 du 24 septembre 2007 du wali de la wilaya de Constantine portant ouverture de l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique ;

Vu l'avis favorable de la commission d'enquête préalable de la wilaya de Mila ;

Vu l'avis favorable de la commission d'enquête préalable de la wilaya de Constantine ;

**Arrêtent :**

Article 1er. — Est déclarée d'utilité publique l'opération d'expropriation relative à la réalisation du projet de renforcement en eau potable du centre de Sidi Khelifa, wilaya de Mila.

Art. 2. — La superficie globale des biens à exproprier devant servir d'assiette à la réalisation de ce projet est de 28 266 m<sup>2</sup> répartis comme suit :

- commune de Ain Etine (wilaya de Mila) : 2681 m<sup>2</sup>,
- commune de Sidi Khelifa (wilaya de Mila) : 6244 m<sup>2</sup>,
- commune de Ibn Ziade (Wilaya de Constantine) : 19341 m<sup>2</sup>.

Art. 3. — Le montant global de l'opération d'expropriation est évalué à trois millions de dinars (3.000.000,00 DA).

Art. 4. — Au titre de la consistance des travaux, la réalisation du projet de renforcement en eau potable du centre de Sidi Khelifa comporte les ouvrages suivants :

- réalisation de deux (2) stations de pompage,
- pose de conduites sur un linéaire de 5 250 ml.

Art. 5. — Le délai maximal imparti pour l'expropriation est fixé à quatre (4) années.

Art. 6. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 23 Chaâbane 1432 correspondant au 25 juillet 2011.

Le ministre de l'intérieur et des collectivités locales  
Daho OULD KABLIJA

Le ministre des ressources en eau  
Abdelmalek SELLAL

Pour le ministre des finances

*Le secrétaire général*  
Miloud BOUTEBBA

-----★-----

**Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.**

Le ministre des ressources en eau,

Le ministre de l'agriculture et du développement rural,

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Jomada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la normalisation ;

Vu le décret exécutif n° 07-149 du 3 Jomada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ;

**Arrêtent :**

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 2 du décret exécutif n° 07-149 du 3 Jomada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation conformément à l'annexe jointe.

Art. 2. — le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012.

Le ministre des ressources en eau  
Abdelmalek SELLAL

Le ministre de l'agriculture et du développement rural  
Rachid BENAÏSSA

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière

Djamel OULD ABBES