

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent



Domaine de sciences et de Technologie  
Institut de Technologie  
Département de Génie de l'Eau et de l'Environnement  
Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master  
Filière : Hydraulique  
Spécialité : Hydraulique Urbaine  
Thème

**CONTRIBUTION DES EAUX USEES EPUREES DE LA  
STEP DE AIN EL HOUTZ A L'IRRIGATION DE LA  
PLAINE DE HENNAYA**

Soutenu le 29 juin 2019 à 10h30

Par :

- 1) Abdoulaye Cyprien Halima
- 2) Souleymane Ibrahim Charifatou

Devant les jurys composés de :

Dr. GUEMOU B.	MCA	CUBBAT	Président
M. BENAICHA M.	MCB	CUBBAT	Examineur
Dr. BAGHLI N.	MCA	CUBBAT	Encadreur
M. ABABOU H.			Co-encadreur

Année universitaire 2018/2019

# Table des matières

Remerciements.....	4
Dédicaces.....	5
Résumé.....	6
Liste des abréviations.....	8
Liste des tableaux.....	9
Liste des tableaux.....	9
Liste des figures.....	10
Introduction générale .....	12
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées et les procédés d'épuration.....	14
Introduction.....	15
I.I. Généralités sur les eaux usées.....	15
I.I.1. Définition des eaux usées.....	15
I.I.2. Les différents types d'eaux usées.....	15
I.I.2.3. Les eaux pluviales.....	15
I.I.3. Systèmes d'assainissement.....	16
I.I.4. Pollution des eaux usées.....	16
I.I.5. Paramètres de pollution.....	16
I.I.6. Normes de rejet.....	20
I.I.7. Normes Algériennes.....	21
I.2. Généralités sur les procédés d'épuration des eaux usées.....	23
I.2.1. Rôle des stations d'épuration.....	23
I.2.2. Procédés d'épuration des eaux usées.....	23
I.2.2.1. Prétraitement.....	23
I.2.2.2. Traitement biologique.....	25
I.2.2.3. Le bassin de décantation ou clarificateur.....	31
I.2.2.4. Les traitements tertiaires.....	32
I.2.2.5. Le traitement des boues.....	34
Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées.....	35
Introduction.....	36
II.1. Les différents types de réutilisations des eaux épurées.....	36
II.1.1. Les usages industriels.....	36
II.1.2. Les usages urbains et municipaux.....	37

II.1.3. Les usages potables.....	37
II.1.4. Les usages agricoles.....	38
II.2. La réutilisation des eaux usées épurées dans le monde.....	40
II.3. La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie .....	42
II.4. Catégories des STEP admises pour la réutilisation agricole.....	42
II.4.1. Catégorie I.....	43
II.4.2. Catégorie II.....	43
II.4.3. Catégorie III.....	44
II.5. Spécifications physico-chimiques.....	44
II.6. Spécifications biologiques.....	45
II.7. Cas de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.....	48
II.7.1. Techniques d'irrigation .....	48
II.7.1.1. Irrigation gravitaire.....	49
II.7.1.2. Irrigation par aspersion.....	53
II.7.1.3. Irrigation localisée (goutte à goutte).....	55
II.7.2. Les types de culture en fonction de la qualité des eaux (normes algériennes).....	58
II.7.2.1. Cas des effluents issus des stations d'épuration de catégorie I et II.....	58
II.8. Détermination des besoins en eau des cultures.....	59
II.8.1. Détermination de l'ETP.....	59
II.8.2. Besoin en eau net d'irrigation.....	62
Chapitre III : Présentation des zones d'étude.....	63
Introduction.....	64
III.1. Présentation de la STEP d'Ain el Houtz.....	64
III.1.1. Données de base.....	65
III.1.2. Principe de fonctionnement.....	65
III.1.3. Description d'installations de la STEP.....	64
III.1.3.1. Pour la filière eau.....	66
III.1.3.2. Pour la filière boue.....	72
III.2. Présentation du périmètre irrigué de Hennaya.....	76
III.2.1. Superficie du périmètre.....	76
III.2.2. Situation de l'AEP de la commune de Hennaya.....	76
III.2.3. La Situation de l'assainissement de la commune de Hennaya.....	77
III.2.4. Relief de la commune.....	77
III.2.5. Caractéristiques climatiques.....	77

III.2.6. Pédologie de la commune.....	78
III.2.7. Ressource en eau.....	79
III.2.8. Principe de fonctionnement.....	80
III.2.9 Classification des cultures irriguées par les eaux épurées.....	82
III.2.10. Mode d'irrigation et prévention.....	82
III.2.11. Impact socio-économique du projet sur la région.....	82
Chapitre IV : Matériels, méthodes d'analyse et interprétations des résultats.....	83
Introduction.....	84
IV.1 L'échantillonnage.....	84
IV.2. Analyses physico-chimiques.....	84
IV.2.1. La température.....	84
IV.2.2. Le pH.....	85
IV.2.3. L'oxygène dissous.....	86
IV.3.4. Conductivité.....	87
IV.3.5. Les matières en suspension.....	89
IV.3.6. La turbidité.....	90
IV.3.6. Phosphates, Ortho (0 à 2.5mg/l PO43- ).....	90
IV.3.7. L'ammoniac, nitrates et nitrites.....	91
IV.3.8. La D.C.O.....	94
IV.4. Analyse biologique.....	95
IV.4.1. Analyse de la DBO5.....	95
IV.5. Analyse des boues.....	97
IV.5.1. La siccité.....	97
IV.5.2. Indice de boue.....	97
IV.6. Quelques défaillances de fonctionnement de la STEP.....	99
Conclusion.....	103
Chapitre V : Impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur la production au niveau du périmètre.....	104
Introduction.....	105
V.I Evolution des superficies irriguées.....	105
V.2 Evolution du rendement des productions.....	108
V.3 Les modes d'irrigation pratiqués.....	110
V.4 Apport économique de la réutilisation des eaux épurées de la STEP pour l'irrigation de la plaine de Hennaya.....	112

V.5. Calcul des besoins en eau nécessaires pour toute la surface du périmètre.....	115
Conclusion générale.....	120
BIBLIOGRAPHIE.....	121
ANNEXES : .....	125

## **Remerciements**

Selon notre tradition prophétique, il est dit « *Ne remercie pas Dieu celui qui ne remercie pas les Hommes* ».

*Ce travail ne serait pas à terme sans l'aide, le soutien et les encouragements de plusieurs personnes que nous tenons à remercier particulièrement.*

*Nous tenons en premier lieu à exprimer notre vive reconnaissance envers nos encadreurs Dr. Baghli N. et M. Ababou H. pour nous avoir proposé ce thème, dirigé notre travail et orienté nos recherches.*

*Nos vifs remerciements vont à l'égard du Dr. Guemou qui a accepté de présider le jury de ce travail.*

*On adresse des sincères remerciements à M. Benaïcha qui a accepté de prendre part au jury.*

*Aucun remerciement ne saurait être à la hauteur du soutien de nos parents et nos familles respectifs. Ils nous ont porté dans leurs cœurs et leurs prières tout au long de notre cursus scolaire et nous ne serions probablement pas là sans cela.*

*Un grand remerciement va à l'endroit des responsables de l'ONA de Tlemcen en particulier ceux de l'unité d'Ain El Houtz pour leur chaleureux accueil et leur sens de partage.*

*Notre gratitude va aussi à l'endroit de Mme Khadijah, maire adjointe de la commune de Hennaya qui nous a accueillis dans sa commune et a mis à notre disposition tous les moyens pour que notre collecte de données se passe dans les meilleures conditions possibles.*

*Nos remerciements vont aussi à l'endroit de M. Bennacer Abdel Kader, responsable de la DSA de Hennaya qui n'a ménagé aucun effort pour nous fournir tout ce dont nous avons eu besoin pour la réalisation de ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont aussi à l'égard de tout le corps professoral du CUBBAT. Chaque connaissance acquise à travers leurs enseignements a contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.*

*A toutes ces personnes et à ceux qui nous n'avons pas évoqué ci-haut, à nos amis, à nos camarades de classe et à toutes nos connaissances, nous leurs adressons un grand merci !*

**Souleymane Ibrahim Charifatou**

Je dédie ce modeste travail :

A mes grands-parents Feu Ibrahim Yacouba, Feu Tonko Gamatié et Feu Fati Traoré, partis trop tôt. Que le Paradis soit votre dernière demeure !

A Adiza Tonko, la mère aimante, le parfait exemple pour ses enfants et la meilleure de toutes !

A Souleymane Ibrahim, le père vaillant qui remue ciel et terre pour le bien être de sa famille!

A Rayana, Myriam et Sarah, de la part de leur sœur qui les aime si fort !

A mes tantes Mariama Ibrahim, Aichatou Ibrahim et Zeinabou Ibrahim, de la part de leur fille qui les aime tant. Ma réalisation est aussi la leur !

A mes grands-parents Berit Børke Bringsli et Øystein qui m'ont soutenu de toutes les manières possibles et imaginables !

A ma binôme Abdoulaye Cyprien Halima pour sa patience, et son esprit d'équipe !

A ma très chère Aminata Mallé, pour sa présence et sa loyauté !

**Abdoulaye Cyprien Halima**

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents Mr Cyprien Fio Abdoulaye pour avoir cru en moi et pour avoir été un exemple de patience, de courage pour moi et Mme Seydou Issaka Aichatou pour tout l'amour qu'elle me porte et pour son soutien !

A toute ma famille

A mes frères et sœurs spécialement :

Cyprien Abdoulaye Fourera pour toute la joie qu'elle m'a apportée durant ce cursus

Cyprien Abdoulaye Roufaye pour avoir été un exemple de persévérance pour moi dans les épreuves de la vie

A mes amis(es) plus précisément Attaher Hama Sidi pour tout le soutien, les conseils, la joie qu'il m'a apportée dans les bons et les mauvais moments durant la réalisation de ce travail

A ma binôme Souleymane Ibrahim Charifatou pour m'avoir accompagné et apporté un plus à la réalisation de ce travail

Et enfin à tout ce qui ont de près ou de loin participé à la réalisation de ce travail.

## **Résumé**

A l'ère du XXème siècle, la protection de l'environnement et la préservation des ressources hydriques constituent un enjeu majeur auxquels sont confrontés les pays du monde. L'Algérie est confrontée depuis les années 1980 à une pénurie d'eau due à l'irrégularité des pluies. Dans son cas, la préservation requiert la réutilisation des eaux usées épurées notamment en agriculture. Dans ce contexte, ce travail traite le sujet de l'épuration des eaux épurées de la STEP d'Ain El Houtz et leur réutilisation pour l'irrigation du périmètre irrigué dans la plaine de Hennaya et aussi l'impact de cette réutilisation.

Au périmètre irrigué de Hennaya de cette technique a contribué dans l'accroissement de la superficie qui est passé de 330 ha en en 2012 à 745 ha en 2018 soit un taux d'exploitation du périmètre de 81 % avec un apport financier conséquent de plus d'un milliard de dinars algérien en 2018.

De l'eau usée brute à l'eau réutilisée en agriculture, ce travail soulignera toutes les phases importantes que subit l'eau depuis sa distribution jusqu'à sa réutilisation.

**Mots-clés :** Réutilisation des eaux épurées, Irrigation, STEP, Ain El houtz, périmètre irrigué, plaine de Hennaya

## **Abstract**

At the XXth century, the protection of the environment and the preservation of water resources constitute a major stake which the countries of the world are confronted. Since the 1980s, Algeria has been facing a shortage of water due to irregular rainfall. In its case, preservation requires the reuse of treated wastewater, particularly in agriculture. In this context, this work deals with the subject of purification of the wastewater of the Ain El Houtz WWTP and their reuse for irrigation of the irrigated perimeter in the plain of Hennaya and also the impact of this reuse.

In the irrigated area of Hennaya, this technique contributed to increase the area from 330 ha in 2012 to 745 ha in 2018, with an operating ratio of 81% and a financial contribution of more than one billion Algerian dinars in 2018.

From raw wastewater to reused water in agriculture, this work will highlight all the important steps that water undergoes from its distribution until its reuse.

**Keywords:** Reuse of treated water, Irrigation, WWTP, Ain El Houtz, irrigated perimeter, Hennaya Plain

## ملخص :

في القرن التاسع عشر، شكلت حماية البيئة والحفاظ على الموارد المائية حصة رئيسية تواجهها دول العالم. في الثمانينات واجهت الجزائر نقصاً في المياه بسبب هطول الأمطار غير المنتظم. في حالته يتطلب الحفاظ وإعادة استخدام المياه العادمة المعالجة، لا سيما في الزراعة. في هذا السياق يتناول هذا العمل موضوع تنقية المياه المعالجة في محطة عين الحوث WWTP وإعادة استخدامها لري المحيط المروي في سهل حنايا وأيضاً تأثير إعادة الاستخدام هذه التقنية ساهمت في زيادة المساحة التي كانت تبلغ 330 هكتار في سنة 2012 إلى 745 هكتار في سنة 2018، وهو يمثل نسبة تشغيل تبلغ 81% بمساهمة مالية تزيد عن مليار دينار جزائري في 2018. من المياه العادمة الخام إلى المياه المعاد استخدامها في الزراعة، سيسلط هذا العمل الضوء على جميع المراحل المهمة التي يمر بها الماء منذ توزيعه وحتى إعادة استخدامه. الكلمات المفتاحية: إعادة استخدام المياه المعالجة، الري، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، عين الحوث، المحيط المروي، سهل الحنايا.

## **Liste des abréviations**

**STEP** : Station d'Épuration

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique En Oxygène pendant 5jours

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**Ph** : Potentiel Hydrogène

**MES** : Matière En Suspension

**MVS** : Matières Volatiles Sèches

**MMS** : Matières Minérales Sèches

**K** : Biodégradabilité

**MO** : Matières Organiques

**COT** : Carbone Total Organique

**CE** : Conductivité Electrique

**C<sub>m</sub>** : Charge Massique

**C<sub>v</sub>** : Charge Volumique

**Q**: Débit (m<sup>3</sup>/s)

**AFD** : Arbres fruitiers divers

## Liste des tableaux

Tableaux	Numéro de page
<b>Tableau I-1</b> Normes des rejets internationales.	21
<b>Tableau I-2</b> Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).	22
<b>Tableau I-3</b> Classification des procédés à boue activée.	29
<b>Tableau II-1</b> Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricole.	45
<b>Tableau II-2</b> Concentration maximale tolérée en DBO5 dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricole.	46
<b>Tableau II-3</b> Spécifications microbiologiques des eaux usées épurées destinée à l'irrigation agricole	47
<b>Tableau III-1</b> Les valeurs de bases des données de la STEP de Tlemcen	65
<b>Tableau III-1</b> Les superficies des cultures irriguées à partir des eaux de la STEP en 2018	82
<b>Tableau V-1</b> Evolution des superficies irriguées en fonction des cultures	105
<b>Tableau V.2</b> Tableau de l'évolution du rendement des productions	108
<b>Tableau V.3</b> Modes d'irrigation selon le type de culture	110
<b>Tableau V.3</b> Apport économique des cultures	113
<b>Tableau V.4</b> Calcul des besoins en eau des cultures	117
<b>Tableau V.5</b> Prévisions des besoins en eau	118

<b>Liste des figures</b>	<b>Numéro de page</b>
<b>Fig. I-1</b> Les étapes du prétraitement	25
<b>Fig. I-2</b> Lit bactérien	26
<b>Fig. I-3</b> Disque biologique	26
<b>Fig. I-4</b> Lagune	27
<b>Fig. II-1</b> Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines	40
<b>Fig. II-2</b> Les différents systèmes d'irrigation	49
<b>Fig. II-3</b> Irrigation par bassins	50
<b>Fig. II-4</b> L'irrigation par rigole	51
<b>Fig. II-5</b> Alimentation des sillons par siphons	51
<b>Fig. II-6</b> Irrigation par rampe à vannettes	52
<b>Fig. II-7</b> Irrigation par gaine souple	53
<b>Fig. II-8</b> Schéma type d'un réseau d'irrigation par aspersion	54
<b>Fig. II-9</b> Système d'irrigation localisée	56
<b>Fig. II-10</b> Filtre à gravier	56
<b>Fig. II.11</b> Exemple d'un goutteur	57
<b>Fig. III-1</b> photo de la vue de la Station d'épuration d'Ain El Houtz (Tlemcen)	64
<b>Fig. III-2</b> photo du déversoir d'orage	66
<b>Fig. III-3</b> photo de la grille grossière manuelle	67
<b>Fig. III-4</b> photo de la grille mécanisée	67
<b>Fig. III-5</b> photo de la dessableur- déshuileur	68
<b>Fig. III-6</b> photo des bassins d'aérations	69
<b>Fig. III-7</b> photo du bassin de nitrification dénitrification	70
<b>Fig. III-8</b> photo des clarificateurs	71
<b>Fig. III-9</b> photo du bassin de chloration	72
<b>Fig. III-10</b> photo de la vis de recirculation	73

<b>Fig. III-11</b> photo du local de pompage à vis	73
<b>Fig. III-12</b> photo de l'épaisseur	74
<b>Fig. III-13</b> photo d'un lit de séchage	74
<b>Fig. III-14</b> photo des lits de séchages + airs de stockage	75
<b>Fig. III-15</b> photo du procédé d'épuration de la step de Tlemcen	75
<b>Fig. IV-1</b> graphe de la variation de la température des eaux à l'entrée et à la sortie	85
<b>Fig. IV-2</b> photo d'un pH-mètre portatif modèle pH 90 WTW (ONA 2005)	85
<b>Fig. IV-3</b> graphe de la variation du pH à l'entrée et à la sortie	86
<b>Fig. IV-4</b> photo d'un oxymètre portatif modèle OXI 92 WTW.	86
<b>Fig. IV-5</b> graphe de la variation de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie	87
<b>Fig. IV-6</b> photo d'un conductimètre portatif modèle LF 90 WTW	88
<b>Fig. IV-7</b> graphe de la variation de la conductivité à l'entrée et à la sortie	88
<b>Fig. IV-8</b> photo d'un spectrophotomètre DR/2000	89
<b>Fig. IV-9</b> graphe de la variation de MES à l'entrée et à la sortie	89
<b>Fig. IV-10</b> graphe de la variation de la turbidité à l'entrée et à la sortie	90
<b>Fig. IV-11</b> graphe de la variation des ortho-phosphates à l'entrée et à la sortie	91
<b>Fig. IV-12</b> graphe de la variation des NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> à l'entrée et à la sortie	92
<b>Fig. IV-13</b> graphe de la variation des nitrates à l'entrée et à la sortie	93
<b>Fig. IV-14</b> graphe de la variation des nitrites à l'entrée et à la sortie	94
<b>Fig. IV-15</b> photo du réactif à D.C.O.	94
<b>Fig. IV-16</b> photo d'un réacteur à D.C.O et plaque chauffante.	94
<b>Fig. IV-17</b> graphe de la variation de la DCO à l'entrée et à la sortie	95
<b>Fig. IV-18</b> photo d'un flacon à D.B.O.	96
<b>Fig. IV-19</b> photo d'un D.B.O mètre.	96
<b>Fig. IV-20</b> graphe de la variation de la DBO <sub>5</sub> à l'entrée et à la sortie	96
<b>Fig. IV-21</b> graphe de la variation l'indice de boue dans les bassins	98
<b>Fig. IV-22</b> graphe de la Variation des matières volatiles sèches des bassins	98

<b>Fig. IV-23</b> remontée des boues mortes à la surface du clarificateur	99
<b>Fig. IV-24</b> photo d'un lit de séchage endommagé	101
<b>Fig. IV-25</b> photo de la tractopelle en panne	102
<b>Fig. IV-26</b> Système de vidange des lits de séchage	102
<b>Fig. V-1</b> superficie des agrumes	106
<b>Fig. V-2</b> Evolution des superficies des oliviers	106
<b>Fig. V-3</b> Evolution des superficies des arbres fruitiers divers	106
<b>Fig. V-4</b> Evolution des superficies des céréales cultures	107
<b>Fig. V-5</b> Evolution du rendement des agrumes	108
<b>Fig. V-6</b> Evolution du rendement des oliviers	109
<b>Fig. V-7</b> Evolution du rendement des arbres fruitiers divers	109
<b>Fig. V-8</b> Evolution du rendement des céréales cultures	109
<b>Fig. V-9</b> Mode d'irrigation des agrumes	111
<b>Fig. V-10</b> Mode d'irrigation des oliviers	111
<b>Fig. V-11</b> Modes d'irrigation des arbres fruitiers divers	111
<b>Fig. V-12</b> Irrigation des céréales cultures	112
<b>Fig. V-13</b> Apport financier des agrumes	113
<b>Fig. V-14</b> Apport financier des oliviers	114
<b>Fig. V-15</b> Apport financier des arbres fruitiers divers	114
<b>Fig. V-16</b> Apport financier des céréales cultures	114

# CHAPITRE I : Généralités sur les eaux usées et les procédés d'épuration

## **Chapitre I : Généralités sur les eaux usées et les procédés d'épuration**

### **Introduction**

L'épuration des eaux usées est le processus par lequel une eau brute subit plusieurs traitements dans une station pour pouvoir répondre aux normes de rejet en vigueur établies. Ces normes visent à protéger le milieu récepteur et rendent possible une éventuelle réutilisation notamment dans le domaine agricole.

### **I.I. Généralités sur les eaux usées**

#### **I.I.1. Définition des eaux usées**

Les eaux utilisées pour les usages domestiques, industriels et agricoles, constituent les effluents pollués et sont rejetées dans un émissaire d'égout. Ils regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux Ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines) [1].

#### **I.I.2. Les différents types d'eaux usées**

Dans les ouvrages et les rapports d'études spécialisés, les eaux usées sont souvent présentés en trois classes. [2]

##### **I.I.2.1. Les eaux domestiques**

Les eaux usées domestiques sont un mélange d'eaux ménagères, appelées encore « eaux grises » (salles de bains et cuisines principalement) et d'eaux vannes ou « eaux noires » (toilettes). Ces eaux contiennent des matières en suspension, des matières organiques, de l'azote, du phosphore, des germes fécaux et des produits divers issus de l'activité humaine domestique (détergents, cosmétiques, produits pharmaceutiques, etc.).[2]

##### **I.I.2.2. Les eaux usées industrielles**

Les eaux usées industrielles dépendent (en quantité et en qualité) du type d'industrie. Outre les constituants dominants (MES, matières organiques, azote, phosphores), elles peuvent contenir des matières minérales diverses dont les métaux (dits « lourds ») et des polluants organiques potentiellement dangereux et toxiques. [2]

##### **I.I.2.3. Les eaux pluviales**

Issues des ruissellements sur les surfaces (toits, chaussées...). [2], ces eaux sont polluées par la matière qu'elles entraînent (huiles, mazouts, graisses, sables, etc.), contiennent également du plomb, zinc et cuivre. [3]

Toutes ces eaux devraient être collectées par le réseau d'assainissement pour subir différents traitements au sein d'une STEP avant de rejoindre le milieu naturel.

### **I.1.3. Systèmes d'assainissement**

On distingue principalement deux types de systèmes de collectes d'eaux usées:

#### **I.1.3.1 Le système unitaire**

Les eaux usées (domestiques et pluviales) sont acheminées vers la station d'épuration par un seul collecteur.

L'avantage de ce système est son faible coût par rapport au système séparatif et son inconvénient est la difficulté de dimensionnement de canalisation.

#### **I.1.3.2 Système séparatif**

Dans ce type de système, les collecteurs des eaux domestiques et ceux des eaux pluviales sont distinctes. Ces dernières sont directement rejetées dans le milieu naturel.

### **I.1.4. Pollution des eaux usées**

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels. Selon leurs natures, on distingue divers types de pollution [4] :

- La pollution minérale provoquée principalement par les métaux lourds et les éléments nutritifs. Celle-ci peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux [5] ;
- La pollution microbiologique provoquée par les microorganismes excrétés avec les matières fécales. [8] ;
- La pollution chimique provenant des rejets d'eaux industrielles ;
- La pollution physique résultant de la présence dans l'eau de particules ou de déchets capables de colmater le lit d'un cours d'eau (cas des eaux provenant par exemple des mines, d'usines de défibrage de bois, de tanneries) [6] ;
- La pollution par le phosphore qui est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [7] ;
- La pollution d'azote également à l'origine du phénomène d'eutrophisation.

### **I.1.5. Paramètres de pollution**

La qualité d'une eau usée s'évalue en fonction des paramètres suivants :

### I.1.5.1 Paramètres organoleptiques

Il s'agit de la couleur et l'odeur. Dans les eaux usées brutes, la couleur est due à la présence des matières organiques dissoutes ou colloïdes par des composés chimiques solubles qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques [9].

### I.1.5.2 Paramètres physiques

- ❖ **La température** : Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O<sub>2</sub>) dans l'eau ainsi que la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques notamment dans la nitrification et la dénitrification biologique [10].
- ❖ **Les matières en suspension (MES)** : Exprimée en mg par litre, ce sont les matières non dissoutes de diamètre supérieur à 1µm contenues dans l'eau. Elles sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures [12].
- ❖ **La turbidité** : elle est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [15].

### I.1.5.3. Les paramètres chimiques

- ❖ **Le potentiel d'hydrogène (pH)** : il exprime le potentiel en hydrogène, il indique la concentration en ion H<sup>+</sup>. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH de neutralité. Il joue un rôle important dans :
  - Les propriétés physique-chimiques (l'acidité et l'alcalinité) ;
  - L'efficacité de certains procédés (coagulation-floculation) ;
  - Le processus biologique.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie [16].

- ❖ **La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO<sub>5</sub>)** : La demande biochimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé, ce temps assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours [15]; c'est la DBO<sub>5</sub>.
- ❖ **Demande chimique en oxygène (DCO)** : La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies [11]. Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables. La DCO est mesurée en mg d'O<sub>2</sub>/l [17].

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO<sub>5</sub> et la DCO est donnée par l'équation suivante:  $MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$

- ❖ **La biodégradabilité (K)** : elle traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que  $K = DCO / DBO_5$

- Si  $K < 1.5$  : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matière fortement biodégradables ;
- Si  $1.5 < K < 2.5$  : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables ;
- Si  $2.5 < K < 3$  : les matières oxydables sont peu biodégradables ;
- $K > 3$  : les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico-chimique [15].

- ❖ **La conductivité électrique (CE) :** La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre. Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500  $\mu\text{Sm/cm}$ , la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire [15].

#### I.1.5.4. Les paramètres bactériologiques

Ils comprennent les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite :

- ❖ **Virus :** ils virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit à une sous-estimation de leur nombre réel [21]. Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve la poliomyélite, l'hépatite A.
- ❖ **Protozoaires :** ces sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoeba histolytica*, agent responsable de la dysenterie amibienne et la *Giardia lamblia* agent responsable de la giardiase [11].
- ❖ **Les bactéries** Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ . Les eaux usées urbaines contiennent environ  $10^6$  à  $10^7$  bactéries par 100 ml. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonella responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux [22].
  - Coliformes totaux : les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels. Les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes, cependant l'absence de ces derniers ne signifie pas nécessairement, que l'eau ne présente pas un risque pathogène [23].

Ce sont de redoutables agents pathogènes, provoquant des diarrhées graves. [53]

- **Coliformes fécaux :** Ils sont capables de se développer à 44°C, et permettent d'estimer le risque épidémiologique dans l'eau. Il faut en toute logique tenir compte de la présence plus ou moins importante de germes pathogènes. La principale bactérie fécale est *Escherichia coli* [24].

Les microorganismes de pollution fécale des eaux sont des bactéries susceptibles de provoquer des troubles gastro-intestinaux, de l'hépatite A et des virus responsables, selon les cas, de gastro-entérites ou syndromes neuro-méningés. [53]

- **Les streptocoques fécaux :** leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes [25].

Ils sont à l'origine d'une forme minoritaire d'angines rouges, d'infections cutanées, d'abcès, d'infections broncho-pulmonaires, elles peuvent également évoluer vers des complications comme le rhumatisme articulaire aigu si la maladie n'a pas été traitée étant jeune.

- ❖ **Les œufs d'Helminthes :** Les œufs helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréments des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée [26]. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 103 œufs par litre. On peut citer, *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Tænia saginata* [21].

Ces agents pathogènes peuvent être transmis à l'homme lors du contact direct avec les eaux usées, ou indirectement par la consommation de cultures irriguées avec ces eaux usées, ou encore par des produits alimentaires d'origine animale. [52]

#### **I.1.5.5. L'équivalent Habitant (EH)**

Un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour.

La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml [15].

#### **I.1.6. Normes de rejet**

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée

pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau suivant [27].

Tableau I-1 Normes de rejets internationales (OMS)

Paramètres	Normes utilisées (OMS)
PH	6.5-8.5
DBO <sub>5</sub>	< 30 mg/l
DCO	< 90 mg/l
MES	< 20 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0.5 mg/l
NO <sub>2</sub>	1 mg/l
NO <sub>3</sub>	< 1 mg/l
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 2mg/l
Température	< 30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

### I.1.7. Normes Algériennes

Ces normes sont établies par la législation dans le cadre de la protection du milieu récepteur (rivières, lac, périmètre d'irrigation). Les paramètres physicochimiques et bactériologiques qui caractérisent les eaux usées sont fixés par des valeurs limites qu'ils ne doivent pas dépasser (qu'ils doivent respecter) à la sortie de la station d'épuration [28]. Ces valeurs sont reportées dans le tableau suivant:

Tableau I-2 Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur  
(Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

Paramètres	Unité	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	6.5-8.5
MES	mg/l	35
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
DCO	mg/l	120
DBO <sub>5</sub>	mg/l	35
Aluminium	mg/l	3
Substances toxiques bioaccumulable	mg/l	0.005
Cyanures	mg/l	0.1
Fluore et composés	mg/l'	15
Indice de phénol	mg/l	0.3
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Huiles et graisses	mg/l	20
Cadmium	mg/l	0.2
Cuivre total	mg/l	0.5
Mercure total	mg/l	0.01
Plomb total	mg/l	0.5
Chrome total	mg/l	0.5
Etain total	mg/l	2
Manganèse	mg/l	1
Nickel total	mg/l	0.5
Zinc total	mg/l	3
Fer	mg/l	3
Composés organiques chlorés	mg/l	5

## **I.2. Généralités sur les procédés d'épuration des eaux usées**

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur, il s'agit donc d'éviter une pollution de l'Environnement et non de produire de l'eau potable [29].

L'épuration biologique des eaux résiduaires est basée sur les mêmes phénomènes que ceux de l'autoépuration naturelle des cours d'eau (rivières, barrages, lacs, mers) sous l'action des microorganismes aquatiques [30].

### **I.2.1. Rôle des stations d'épuration**

Les stations d'épuration ont pour rôle :

- Traiter les eaux.
- Protéger l'environnement.
- Protéger la santé publique.
- Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement [31].

### **I.2.2. Procédés d'épuration des eaux usées**

Une station d'épuration des eaux usées comprend les étapes suivantes :

#### **I.2.2.1. Prétraitement**

Avant leur traitement, les eaux brutes doivent subir un prétraitement qui a pour objectif d'extraire la plus grande quantité possible de matières pouvant gêner les traitements ultérieurs [30]. De nature physique, le prétraitement regroupe les opérations suivantes :

- ❖ **Le dégrillage** : le principe de dégrillage consiste en l'insertion d'une grille en travers du courant d'eau usée à prétraiter. Il a pour objectif, l'élimination des déchets volumineux et la protection de la station de traitement. La grille peut être droite ou courbe ; les grilles droites peuvent être placées en position verticale ou inclinée par rapport au plan horizontal ; dans ce dernier cas elle présente au courant d'eau une plus grande surface. L'espacement entre les barreaux permet de fixer la taille des déchets à éliminer pour cela, on distingue trois types de dégrillage en fonction de la taille des détritiques à éliminer :
  - 30 à 100 mm : Prédégrillage
  - 10 à 30 mm : Dégrillage moyen
  - 3 à 10 mm : Dégrillage fin

Pour éviter le colmatage de l'installation, une opération de nettoyage est obligatoire. Elle peut être manuelle dans le cas des petites stations ou automatiques lorsque le volume des déchets à évacuer est important [30].

❖ **Le tamisage** : cette opération constitue un dégrillage fin ; elle est mise en œuvre dans le cas d'eaux résiduaires chargées de matières en suspension de petites tailles (eaux usées d'abattoirs et de conserverie de légumes). On distingue :

- Le macrotamisage (dimensions des mailles supérieures à 250  $\mu$ )
- Le microtamisage ( $30\mu < \text{vide des mailles} < 150\mu$ )

❖ **Le dessablage** : Cette opération est indispensable si on veut éviter le colmatage des canalisations (surtout si elles sont enterrées) et protéger les équipements à pièces tournantes de la corrosion.

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0.2mm et de masse spécifique de l'ordre de 2.65g/cm<sup>3</sup>.

La technique du dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse constante de 0.3m/s quel que soit le débit [30].

❖ **Le dégraissage- déshuilage** : c'est une opération destinée à éliminer les graisses et les huiles dans les eaux résiduaires (stations-services, abattoirs, industries alimentaires, etc.) Les huiles et les graisses présentent plusieurs inconvénients pour le traitement tel que :

- Envahissement des décanteurs;
- Diminution des capacités d'oxygénation des installations de traitement biologique ;
- Isolation de la zoogée en lit bactérien ;
- Mauvaise sédimentation dans les décanteurs ;
- Bouchage des canalisations et des pompes ;
- Acidification du milieu dans le digesteur anaérobie.

Pour qu'un dégraissage soit efficace, il faut que la température de l'eau soit inférieure à 30°C.

Le prétraitement se résume dans la fig I-1

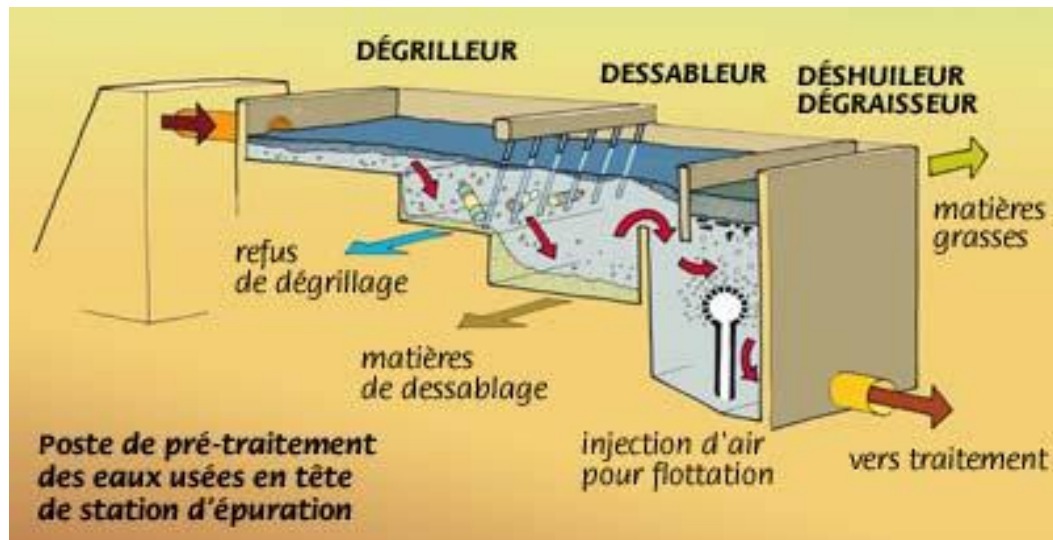


Fig I-1 les étapes du prétraitement <https://www.google.com>

### I.2.2.2. Traitement biologique

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Les microorganismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous forme de floes et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes [23]. Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées sont :

#### ❖ Les procédés biologiques d'épuration à culture fixée

Dans ce système, la zooglyée est fixée sur un support solide et le contact est établi entre l'eau et le support par ruissellement.

- **Lit bactérien** : les lits bactériens, appelés aussi lits ou filtres à ruissellement ont été utilisés pour le traitement biologique des eaux usées depuis près de 100 ans.

Son principe de fonctionnement est de faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement sur une masse de matériau (naturel ou plastique) servant de support aux micro-organismes [14].

On distingue :

- **Le lit bactérien traditionnel** : il est constitué d'un amas cylindrique de cailloux ou de galets ayant une taille de 5 à 10 cm ; la hauteur de couche se situe entre 1.5 et 2.1 m.

Les hauteurs plus importantes n'améliorent pas l'efficacité de l'élimination de la DBO. Le système doit être précédé d'une décantation primaire.

- **Le lit bactérien moderne (biofiltre)** : de nombreux supports ont été utilisés ces dernières années pour remplacer le remplissage traditionnel des lits bactériens. L'avantage principal de ces nouveaux matériaux est leur indice de vide important de l'ordre de 90% qui permet la formation du film biologique sans inhiber le passage d'air. Les autres avantages sont : une uniformité permettant une meilleure distribution du liquide, une légèreté facilitant la construction des tours de plus en plus hautes, une résistance chimique, une capacité à recevoir des eaux usées fortement chargées et non décantées [30].



Fig. I-2 Lit bactérien <http://www.neve.fr>

- **Disque biologique** : le dispositif est constitué d'une série de disques en matières plastiques à surface ondulée de 3m de diamètre environ et montés sur un axe horizontal. Ces disques sont immergés à 40% approximativement dans un bassin recevant l'eau à traiter. Les disques sont suffisamment espacés de manière à ce que l'eau puisse circuler librement. Lorsqu'ils subissent une rotation autour de l'axe, les parties submergées entrent en contact avec l'air. Le film biologique qui recouvre le disque est alternativement en contact avec l'eau usée et l'air [30].

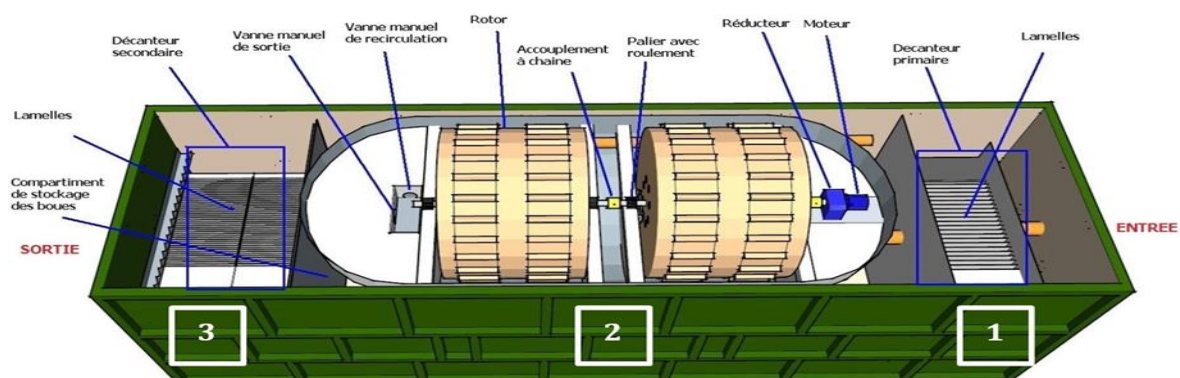


Fig. I-3 Disque biologique (<http://fr.123rf.com>)

### ❖ Les procédés biologiques d'épuration à culture libre

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux [32].

- Lagunage naturel :** l'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est trois (03). Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure de bassins est exposée à la lumière ; ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier, au fond du bassin où la lumière ne pénètre pas; ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique [32].

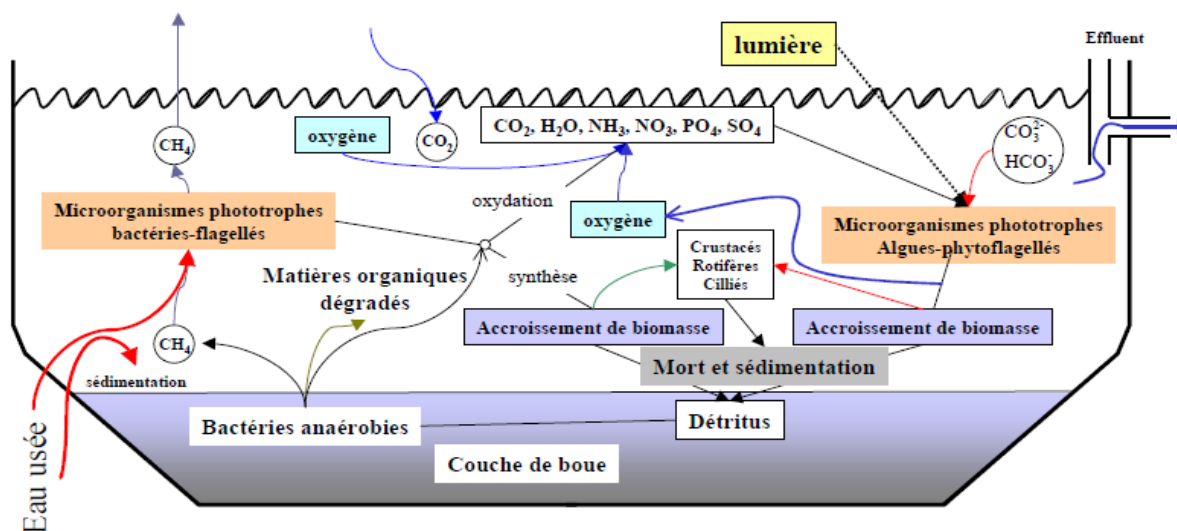


Fig. I-4 Lagune [32]

- **Lagunage aéré** : il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs d'air) [32]. Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année [32].
- **Les boues activées** : le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester. L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération.

Une station d'épuration à boues activées comprend:

- **Un bassin dit d'aération** dans lequel l'eau à épurer est mis en contact avec la masse bactérienne épuratrice.
- **Un clarificateur** dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne.
- **Un dispositif de recirculation** assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupérées dans le clarificateur.
- **Un dispositif d'extraction et d'évacuation des boues en excès**, c'est-à-dire de surplus de culture bactérienne synthétisée en permanence à partir du substrat, un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération.
- **Un dispositif de brassage** de ce même bassin, afin d'assurer au mieux le contact entre les cellules bactériennes et la nourriture, d'éviter les dépôts, de favoriser la diffusion de l'oxygène partout où il en a besoin. Très fréquemment, le même dispositif est utilisé pour l'aération et le brassage.

#### ❖ **Les paramètres de fonctionnement**

Ce sont des paramètres essentiels au dimensionnement et au fonctionnement d'une STEP à boue activée. Il s'agit de :

- **La charge massique (en kgDBO<sub>5</sub>/kg MVS.jour)** représente le flux de pollution biodégradable à traiter par rapport à la quantité de boues biologiques présentes dans le réacteur biologique [2].

$$C_m = \frac{\text{Kg DBO}_5 \cdot \text{J}^{-1} \text{ arrivant dans le bassin}}{\text{Kg MVS présent dans le bassin}} = \frac{QS_0}{V * X} \quad (1)$$

Avec

$C_m$  : charge massique (kg/kg.J)

Q : débit d'entrée dans la station (m<sup>3</sup>/J)

$S_0$  : DBO<sub>5</sub> à l'entrée (kg/m<sup>3</sup>)

V : volume du bassin (m<sup>3</sup>)

X : concentration en MVS (kg/m<sup>3</sup>).

- **La charge volumique** représente le flux de pollution biodégradable à traiter rapporté au volume du réacteur biologique.

$$C_v = \frac{\text{kg DBO}_5 \cdot \text{J}^{-1} \text{ arrivant dans le bassin}}{\text{V du bassin}} = \frac{QS_0}{V} \quad (2)$$

Avec

$C_v$  : charge volumique (kg/kg.J)

Q : débit d'entrée dans la station (m<sup>3</sup>/J)

$S_0$  : DBO<sub>5</sub> en entrée (kg/m<sup>3</sup>)

V : Volume du bassin d'aération (m<sup>3</sup>) [2].

Il est courant de classer les différents procédés par boues activées suivant la valeur de la charge massique ou volumique à laquelle ils fonctionnent. Les valeurs sont montrées sur le tableau I-3.

Tableau I-3 **classification des procédés à boue activée [33].**

Charge	Charge massique (kgDBO5/kg MVS.J)	Charge volumique (kg DBO5/m <sup>3</sup> .J)
<b>Très forte charge</b>	>1.5	1.0
<b>Forte charge</b>	0.5 à 1.5	2.4
<b>Moyenne charge</b>	0.25 à 0.5	4
<b>Faible charge</b>	0.1 à 0.25	8
<b>Très faible charge</b>	<0.1	20

- **Le temps de séjour** : représente le temps de résidence hydraulique dans le bassin.

$$T_s = \frac{V}{Q} \quad (3)$$

Avec

$T_s$  : Temps de séjour (J)

$Q$  : débit d'entrée dans la station ( $m^3/J$ )

$V$  : volume de l'ouvrage considéré ( $m^3$ ) [2].

- **Âge des boues** : L'âge des boues ( $A$ ) est un paramètre important de suivi des stations d'épuration par boues activées, car il est directement lié au rendement d'épuration du réacteur. C'est le rapport entre la masse de boues présentes dans l'aérateur et la quantité de boues extraites (donc produites) par jour [29].

$$A = \frac{\text{Boues présentes}}{\text{Boues produites}} = \frac{[MVS]_{BA} \cdot V_{BA}}{[MVS]_{dec} \cdot Q_{purge}} \quad (4)$$

Avec

$A$  : Âge des boues (J)

$[MVS]_{BA}$  : concentration en MVS dans le système de boue

$[MVS]_{dec}$  : concentration en MVS dans la purge de boue

$V_{BA}$  : volume du bassin d'aération ( $m^3$ )

$Q_{purge}$  : débit de purge en sortie du clarificateur ( $m^3/J$ ) [2]

- **Taux de recyclage des boues** : représente la quantité de boues extraites de la partie inférieure du clarificateur qui retourne dans le bassin d'aération. Intimement lié à la purge des boues, il permet de maintenir une concentration constante de MES dans le bassin biologique et de limiter la production des boues [2].

$$\alpha = \frac{Q_r}{Q_e} \quad [5]$$

Avec

$\alpha$  : taux de recyclage

$Q_r$  : débit de recyclage ( $m^3/J$ )

$Q_e$  : débit d'entrée ( $m^3/J$ )

- **Recirculation de la liqueur mixte** : représente le flux de liqueur mixte en sortie du bassin d'aération que l'on renvoie en tête de station dans le bassin d'anoxie pour réduire les nitrates formés par l'oxydation des ions ammoniums dans le bassin aéré. [2]

$$\beta = \frac{Q_{re}}{Q_e} \quad (6)$$

Avec

$\beta$  : taux de recirculation

$Q_{re}$  : débit de recirculation ( $m^3/J$ )

$Q_e$  : débit d'entrée ( $m^3/J$ )

- **Indice de Mohlmann - Indice de boue – Taux de boue** : Ces indices représentent la capacité des boues à décantent et donc, l'efficacité du clarificateur. La valeur de l'indice pour une bonne décantation est située entre 50 et 180. [2]

$$IM = \frac{Vd\ 30\ (ml/L)}{MES\ (g/L)} \quad (7)$$

Avec

IM : indice de MOHLMANN

Vd30 : volume des boues après 30 minutes de sédimentation d'un litre de boue mixte (mL/L)

[MES] : concentration en MES (g/L)

L'indice de boue correspond au même calcul en considérant la dilution initiale des boues si nécessaire. Le taux de boue représente le ratio de boue en volume (volume occupé par la boue après 30 mn) [2].

- **Les systèmes d'aérations :**

La qualité d'un système d'aération est évaluée, d'une part, par sa capacité d'oxygénation et d'autre part, par l'énergie nécessaire pour dissoudre un kg d'oxygène. [29]

L'aération est nécessaire pour la dégradation des matières organique et pour maintenir les bactéries en vie au moyen d'appareils appelés aérateurs. On admet cependant, que le microorganisme aérobie en suspensions dans l'eau n'utilise pas directement l'oxygène gazeux, et que celui que l'on se propose de leur fournir doit être au préalable dissous dans l'eau [14]

On distingue :

- Aération mécanique de surface
- Aération par air sur pressée : Les dispositifs d'injection d'air sur pressé à fines bulles (diffuseurs poreux à haut rendement d'oxygénation: 12 %), à moyennes bulles (diffuseurs à clapets) ou à grosses bulles (diffuseurs à larges orifices) à faible rendement d'oxygénation 5% [29].

### I.2.2.3. Le bassin de décantation ou clarificateur

A l'issue des traitements, une ultime décantation permet de séparer l'eau épurée et les boues ou résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux, les clarificateurs.

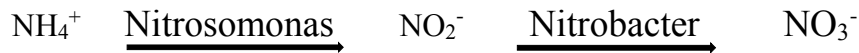
L'eau épurée peut alors être rejetée dans le milieu naturel. Les boues récupérées en fond d'ouvrage sont pour partie renvoyées vers le bassin d'aération pour y maintenir la concentration voulue en micro-organismes épuratoires et, pour partie, extraites et envoyées sur la ligne de traitement des boues (lits de séchage, silos) [35].

#### **I.2.2.4. Les traitements tertiaires**

Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination d'azote, de phosphore ou des germes pathogènes, qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires [42]. Ils regroupent toutes les opérations physiques, chimiques ou biologiques qui complètent les traitements primaires et secondaires. Les traitements tertiaires sont nombreux et peuvent constituer une chaîne complexe ; les opérations qui les composent dépendent de l'usage que l'on fera de l'eau traitée. Dans le cas de rejets en rivières, il se limite à la désinfection, l'élimination de l'azote et de phosphore [30].

- ❖ **L'élimination de l'azote** : les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des procédés physiques et physico-chimiques complémentaires permettent l'élimination de l'azote par : électrodialyse, résines échangeuses d'ions, "strippage" de l'ammoniaque, mais ces traitement ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de coût [36].
- ❖ **Élimination biologique de l'azote** : l'élimination biologique de l'azote fait intervenir 4 réactions principales :
  - **L'ammonification** : c'est l'utilisation d'une partie de l'azote organique en azote ammoniacale. La vitesse d'ammonification dépend essentiellement de la concentration en azote ammoniacal.
  - **L'assimilation** : c'est l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal et éventuellement organique pour la synthèse bactérienne.
  - **La nitrification** : C'est L'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate .Elle s'effectue en deux stades par micro-organismes autotrophes Cette transformation est réalisée en milieu aérobie:
    - \* Oxydation de  $(\text{NH}_4^+)$  en  $(\text{NO}_2^-)$  : c'est l'œuvre des germes Nitrosomonas,
    - \*Oxydation de  $(\text{NO}_2^-)$  en  $(\text{NO}_3^-)$  : Les bactéries responsables de cette deuxième réaction, appartiennent aux germes Nitrobacter.

La réaction globale simplifiée de la nitrification peut s'écrire :



- **La dénitrification** : C'est un processus anaérobie (absence de l'oxygène) par lequel les nitrates sont réduits en azote et en oxydes d'azote. Les micro-organismes utilisent les nitrates comme source oxydante à la place de l'oxygène et en présence d'une source de carbone organique qui doit être apportée dans le milieu.

Avant d'arriver au stade ultime d'utilisation complète de l'oxygène du nitrate pour obtenir l'azote gazeux  $\text{N}_2$ , une série de réactions complexes se produisent. On peut les résumer :



- ❖ **L'élimination du phosphore** : l'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physicochimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs comme les sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et éliminée par décantation. Cette technique est la plus utilisée actuellement. Elle élimine entre 80% et 90% du phosphore, mais engendre une importante production de boues [37].
- ❖ **La désinfection** : un abaissement de la teneur des germes, parfois exigé pour les rejets dans des zones spécifiques (zones de baignade, zones de conchylicoles) ou dans le cadre d'une réutilisation, sera réalisé par des traitements de désinfection chimique par :
  - **Le chlore** : Est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec le micro-organisme. Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont: le chlore gazeux ( $\text{Cl}_2$ ), l'hypochlorite de sodium ( $\text{NaClO}$ ) appelé communément " eau de Javel", l'hypochlorite de calcium ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ), le chlore de chaux ( $\text{CaCl}_2\text{OCl}$ ) et le chlorite de sodium ( $\text{NaClO}_2$ ) [37].
  - **L'ozone ( $\text{O}_3$ )** : Est un oxydant puissant, la désinfection par l' $\text{O}_3$  est utilisée aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen Orient essentiellement. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus. Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité [37].

### I.2.2.5. Le traitement des boues

Les boues constituant le résidu principal des stations d'épuration. Le traitement des boues représente 30% de l'investissement dans la construction d'une station d'épuration. Le traitement des boues a pour objectifs de :

- ✓ réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation) ;
- ✓ diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation) [38].

❖ **Épaississement** : cette opération a pour objet la séparation de l'eau interstitielle des particules de boues. Elle peut être utilisée comme première étape du traitement.

Les avantages liés à cette opération sont la réduction du volume, la diminution du temps de séjour, l'amélioration du rendement de la déshydratation [30].

❖ **La déshydratation – séchage** : la déshydratation naturelle se fait sur des lits de séchage.

Une couche de 200 à 250 mm de boue est ramenée par séchage à 100 mm au bout de quelques semaines. Le problème posé par ce procédé est celui de la récupération de la boue séchée par raclage, qui occasionne souvent des pertes de sable. Les lits de séchages doivent être refaits tous les deux ans.

❖ **La valorisation des boues**

Les solutions d'élimination finale des boues peuvent être :

- réutilisation agricoles des boues après compostage ou séchage
- mise en décharge contrôlée
- incinération combinée avec les ordures ménagère [39]

# CHAPITRE II : Réutilisation des eaux épurées

---

## Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées

### Introduction

On appelle réutilisation des eaux, l'emploi de nouveau des « eaux de deuxième main » pour un usage différent de celui de son premier emploi grâce à des actions volontaires [40]. La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale. Elle présente, en effet, l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative permettant de limiter les déficits en eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de palier aux pénuries d'eau engendrées par les changements climatiques. [41]

### II.1. Les différents types de réutilisations des eaux épurées

Les eaux usées épurées peuvent être utilisés dans plusieurs domaines tels que:

#### II.1.1. Les usages industriels

Un des plus grands potentiels pour la réutilisation de l'eau est de compléter ou de remplacer l'utilisation d'eau potable et/ou de ressources naturelles pour les industries. L'industrie est le deuxième plus grand consommateur d'eau après l'agriculture avec environ 25% de la demande mondiale

La réutilisation de l'eau est traditionnellement pratiquée depuis des années dans les industries pétrolières, textiles, automobiles, de production de pâtes et papier, de production d'énergie, ainsi que plus récemment dans les industries électroniques et alimentaires.

Bien qu'il existe un large éventail de types de réutilisation de l'eau en industrie, les principaux usages sont :

- ✓ Systèmes de refroidissement en circuit ouvert ou fermé,
- ✓ Eau de lavage,
- ✓ Alimentation de chaudière,
- ✓ Eaux de procès,
- ✓ Divers autres usages comme la protection contre l'incendie, le nettoyage, etc.

Les exigences et les domaines d'application du recyclage de l'eau en industrie diffèrent en fonction du type d'industrie, des procédés industriels spécifiques, ainsi que de leurs objectifs de performances. Pour cette raison, il est impossible de généraliser les exigences de qualité de l'eau recyclée utilisée comme eau de procès. [41]

### **II.1.2. Les usages urbains et municipaux**

La distribution d'eau non-potable en milieu urbain est une pratique assez ancienne qui connaît un intérêt particulier durant les dernières années. En réponse aux sécheresses de plus en plus fréquentes et des pénuries d'eau, plusieurs grandes villes ont développé un réseau double de distribution d'eau recyclée pour l'irrigation et d'autres usages urbains.

Les principales catégories de réutilisation de l'eau en milieu urbain sont les suivantes :

- ✓ L'irrigation d'espaces verts, qui est l'usage le plus commun et qui comprend l'irrigation des parcs publics ou privés, des terrains de sport, des ceintures vertes, des terrains de golf, ainsi que des zones résidentielles et des jardins privés.
- ✓ le nettoyage des rues, le lavage de voitures, la protection incendie, la climatisation, l'alimentation des chasses d'eau et certaines applications commerciales.
- ✓ Le recyclage en immeuble qui se réfère essentiellement au recyclage de l'eau dans les bâtiments de grande hauteur, y compris des immeubles de bureaux, des centres commerciaux et des immeubles résidentiels privés.
- ✓ Amélioration de l'environnement et les usages récréatifs pour la reconstitution et l'alimentation des plans d'eau, des lacs et des cours d'eau urbains, y compris ceux utilisés pour la natation (avec ou sans contact physique), les loisirs ou à des fins de pêche.

La protection de la santé publique est l'exigence la plus importante pour ce type de réutilisation en raison des risques de contact direct avec l'eau recyclée. De ce fait, les exigences de désinfection des effluents sont parmi les plus sévères pour les usages non-potables, et sont comparables à ceux de l'irrigation sans restriction des parcs et des espaces verts ouverts au public. Pour atteindre un tel niveau de traitement avec une désinfection quasi-totale, il est nécessaire de prévoir un traitement complémentaire de filtration et de désinfection après traitement biologique. En plus du suivi de la qualité de l'eau recyclée, un contrôle strict et régulier des systèmes de distribution est préconisé, en particulier pour éviter tout risque d'interconnexion avec le réseau d'eau potable. [41]

### **II.1.3. Les usages potables**

L'histoire de la réutilisation des eaux usées épurée pour la production d'eau potable a commencé dans les années 1960 avec le projet de recharge de nappe à Montebello

---

Forebay, Californie (1962) par infiltration d'eau recyclée et le premier projet de réutilisation directe comme eau potable à Windhoek, Namibie (1968).

Depuis, l'expérience d'exploitation de ces projets et celle de plusieurs autres projets mis en œuvre depuis, a démontré la faisabilité de ce type de réutilisation et l'absence d'effets négatifs sur la santé publique. [41]

Les scientifiques sont formels : aujourd'hui on peut faire n'importe quelle qualité d'eau avec de l'eau de n'importe quelle qualité. La limite n'est pas technologique, elle est réglementaire. [42]. Toutefois, les principales contraintes dans ce type d'utilisation sont d'ordre psychologique et culturel, avec la perception négative des eaux usées comme étant malsaines et irréversiblement contaminées. [41]

Bien que non reconnu publiquement, de nombreuses villes dans le monde sont alimentées par des schémas de réutilisation non planifiée des eaux usées qui sont utilisées, peu ou moins diluées par des eaux de surface, pour la production indirecte d'eau potable. Par rapport à cette situation existante et très répandue, la réutilisation planifiée des eaux usées pour l'augmentation des ressources en eau potable présente un certain nombre d'avantages permettant de réduire les risques sanitaires et d'améliorer la rentabilité du traitement de l'eau et des eaux usées. [43]

Plusieurs pratiques ont été mises en œuvre pour la production d'eau potable comme une solution durable aux défis des déficits hydriques croissants que certains pays devront affronter dans les 20 prochaines années, on distingue :

- ✓ La recharge indirecte (via des bassins d'infiltration) ou directe (via des puits d'injection) des nappes phréatiques, utilisées pour la production d'eau potable ou comme barrière contre l'intrusion d'eau de mer saline ou d'eau polluée (filtration sur berge de rivière),
- ✓ La recharge de réservoirs de surface utilisés pour la production d'eau potable.

Les exigences très sévères de sécurité pour la santé publique sont assurées non seulement par un traitement adéquat, mais aussi par le contrôle régulier et en continu de qualité de l'eau et de la fiabilité de chaque procédé individuel et par l'application de bonnes pratiques de gestion des projets [43].

#### **II.1.4. Les usages agricoles**

L'agriculture représente le plus grand consommateur d'eau, soit environ 70% de la demande mondiale. Dans certains pays arides et semi-arides, l'eau recyclée fournit la plus grande partie de l'eau d'irrigation.

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique millénaire qui a été développée par les anciennes civilisations et qui a été utilisée également jusqu'au 20ème siècle comme système d'épuration des eaux usées dans les champs d'épandage. En fait, le sol représente un filtre efficace avec jusqu'à une ou deux tonnes de micro-organismes « épurateurs » par hectare. Les eaux usées apportent non seulement de l'eau pour les cultures, mais aussi contribuent à l'amélioration des rendements par l'apport de nutriments. A l'heure actuelle, l'intérêt principal de la réutilisation des eaux usées en agriculture est de pallier aux déficits hydriques et d'augmenter les rendements de la production agricole par un apport adéquat d'eau d'irrigation.

Le principe de base de la réutilisation agricole de l'eau est l'exigence d'un traitement adéquat des eaux usées municipales jusqu'à un niveau de qualité spécifique au type d'usage. Il est à noter qu'outre les avantages bien connus, l'utilisation d'eau recyclée pour l'irrigation peut avoir des impacts négatifs pour la santé publique et pour l'environnement qui dépendent du niveau de traitement, des conditions locales et des pratiques d'irrigation. Dans tous les cas, les connaissances scientifiques existantes, les retours d'expérience et les bonnes pratiques permettent de réduire les risques par la mise en œuvre d'une planification efficace, d'une sélection technologique appropriée et d'une gestion rigoureuse des pratiques d'irrigation.

Les principaux risques liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peuvent être classés en trois catégories :

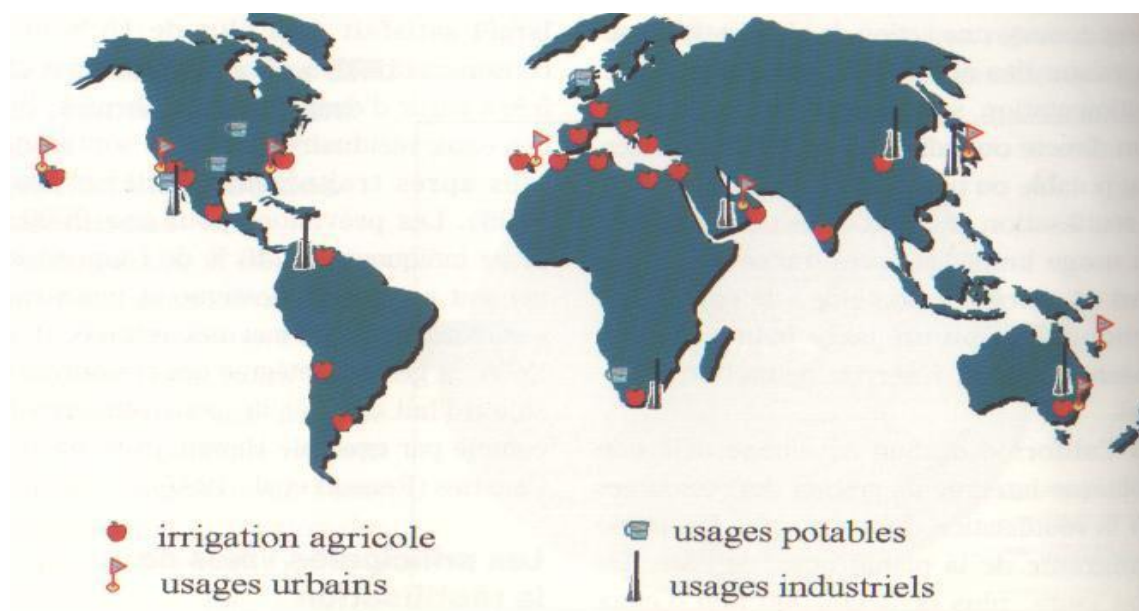
- ✓ Risques sanitaires.
- ✓ Risques agronomiques et environnementaux.
- ✓ Risques opérationnels de dégradation de la qualité de l'eau recyclée dans les systèmes de distribution et de colmatage des équipements d'irrigation.

Par principe, la majorité des normes plus récentes exigent au minimum un traitement biologique des eaux usées destinées à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation. Un traitement tertiaire complémentaire est souvent indispensable pour les usages à haut risque sanitaire, comme par exemple l'irrigation de cultures maraichères consommées crues et

l'irrigation d'espaces verts. Une filtration complémentaire est également nécessaire pour éviter les dépôts dans le système de distribution et/ou de réduire le risque de colmatage des dispositifs d'irrigation, notamment les buses d'aspersion et les systèmes goutte-à-goutte. Les bonnes pratiques d'irrigation avec de l'eau recyclée pour le contrôle des risques agronomiques consiste dans la combinaison de plusieurs mesures préventives ou correctives, y compris :

- ✓ Sélection d'une méthode d'irrigation adéquate,
- ✓ Choix approprié des cultures irriguées qui ont une tolérance adéquate du sel, du bore, du sodium et des chlorures,
- ✓ Pratiques de gestion des sols appropriées (préparation, amendements, etc.),
- ✓ Lessivage et drainage suffisant du sol pour drainer l'eau et évacuer les sels en excès,
- ✓ Calendrier adéquat pour faire à la fois l'irrigation et le lessivage,
- ✓ Bonne utilisation des engrais.

Le développement et la mise en place de nouvelles filières de traitement des eaux usées pour l'irrigation a contribué également à l'amélioration de la qualité esthétique de l'eau recyclée avec l'élimination des problèmes d'odeurs et de coloration des eaux recyclées qui a freiné plusieurs projets en raison d'une perception négative de la part des usagers [41].



**Fig. II-1** répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines [44]

---

## II.2. La réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

La réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. D'ores et déjà, certains pays, états et grandes métropoles (Australie, Espagne, Israël, Jordanie...) ont des objectifs ambitieux de satisfaire de 10 à 30%, voire jusqu'au 60% de leur demande en eau par la réutilisation des eaux usées épurées. [41]

Pendant les dernières années, la réutilisation 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[45].

Israël recycle 100 % de leurs eaux usées. En Jordanie, un tiers de l'eau agricole provient des eaux traitées. Ces pays ont en commun d'être soumis à des périodes de sécheresse ou de manque d'eau récurrents.

Le volume moyen d'eau usée réutilisée en France serait de 19000 m<sup>3</sup>/ jour contre 800 000 m<sup>3</sup>/jour en Italie ou plus de 7 millions de m<sup>3</sup>/jour aux États- Unis. [42]

Israël emploie 75 % des eaux recyclées pour irriguer les champs. Il s'agit d'une quantité sans précédent dans le monde. À titre de comparaison, l'Espagne qui vient après Israël dans ce domaine n'utilise que 10 % des eaux recyclées pour irriguer les terrains agricoles. [46]

La ville de Milan traite 350 000 m<sup>3</sup> d'eau usées par jour dont une partie est destinées à l'irrigation. Aux États-Unis, une usine du sud de la Californie traite 150 000 m<sup>3</sup>/ jour, dont 70% sont destinées à l'irrigation. L'usine de traitement des eaux usées de Barcelone traite 100 000m<sup>3</sup>/jour, qui après filtration et désinfection sont utilisées pour l'irrigation, l'arrosage des espaces verts et la recharge des zones humides du delta Llobregat.

Elle est très développée aussi en Asie et dans les pays du Golfe Persique. Le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée [47]. Elle est largement systématisée dans l'entité sioniste. La Tunisie a 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. [45]. La réutilisation constitue donc une ressources précieuse permettant de pallier aux insuffisances des précipitations afin de maintenir ou de

développer la production agricole locale, le secteur du tourisme, et de sécuriser l'approvisionnement en eau potable des populations tout en limitant les impacts des activités humaines sur les eaux souterraines et de surface. L'urgence est d'investir dans le traitement de ces eaux usées pour les rendre compatibles avec l'irrigation des cultures. [42]

### **II.3. La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie**

La réutilisation des eaux usées épurées afin de subvenir aux besoins en eau croissants du secteur agricole a longtemps été entravée en raison de la vétusté des stations d'épuration du pays. Dans la nouvelle politique de l'eau, elle est devenue un axe prioritaire et des investissements ont été consentis dans la réhabilitation des anciennes stations et dans la construction de nouvelles. Etant donnée la situation de stress hydrique, les pouvoirs publics ont vu dans cette opportunité un moyen de réduire ou du moins de préserver les ressources en eaux traditionnelles tout en accroissant la production agricole. L'utilisation des eaux traitées peut bénéficier également aux municipalités, aux industries et au renouvellement des nappes. L'objectif déclaré des autorités est de comptabiliser 239 stations d'épuration des eaux usées en 2014 correspondant à une capacité de 1,2 milliards de m<sup>3</sup> par an d'eaux épurées. Le recours croissant à cette ressource d'eau non conventionnelle constitue une incitation supplémentaire pour améliorer les capacités d'épuration des eaux usées et augmenter le taux de raccordement des particuliers au réseau d'assainissement. Les priorités pour les autorités portent sur la définition précise des usages de cette ressource, sur la capacité des STEP et du réseau de transport d'eau épurée à répondre aux besoins hydrauliques et sur l'acceptation par les usagers de réutiliser des eaux usées traitées.[49]

Sur les 130 stations d'épuration exploitées par l'office national de l'assainissement à travers les 44 wilayas, 17 sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. Le volume réutilisé en fin Août 2016 est estimé à 14,6 Millions de m<sup>3</sup>, pour ces 17 STEP concernées par la réutilisation des eaux usées épurées afin d'irriguer plus de 11 076 ha de superficies agricoles, il s'agit de :

- ✓ Kouinine (El Oued) et Ouargla ;
- ✓ Guelma, Souk Ahras ;
- ✓ Tlemcen, Mascara et les lagunes de : Ghriss, Bouhanifia, Hacine, Oued Taria, Froha, Khalouia, Tizi-Ouzou et Mohamadia ;
- ✓ Boumerdes [48]

---

## II.4. Catégories des STEP admises pour la réutilisation agricole

L'amélioration du mode de traitement des eaux usées dans une station d'épuration, améliore par conséquent la qualité des eaux épurées obtenues.

Les différentes catégories de traitement qui sont liées directement par un mode de traitement bien défini présenteront l'obtention d'une certaine qualité des eaux usées épurées et présentera des restrictions d'utilisation spécifique. [49]

Ces catégories de traitement sont définies comme suit :

### II.4.1. Catégorie I

Ce sont les stations de traitement avec traitements primaires sommaires et avec peu (ou pas) de possibilités de gestion de processus épuratoire.

Le mode de traitement est constitué de :

- Traitement primaire : dégrillage au minimum ;
- Traitement secondaire : lagunages naturels ou aérés ; boues activées à faible ou moyenne charge + chloration éventuelle ;
- Durée de stockage des eaux épurées 1/2 jour minimum. [49]

La qualité des eaux usées épurées doit respecter ces valeurs :

- ✓  $DBO_5 < 30 \text{ mg/l}$  ;
- ✓  $DCO < 120 \text{ mg/l}$  ;
- ✓  $MES < 30 \text{ mg/l}$  ;
- ✓  $pH : 6,5 \text{ à } 8$ .

### II.4.2. Catégorie II

Ce sont les stations de traitement avec traitements primaires complets et avec moyens de gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle adaptés.

Le mode de traitement comporte :

- Traitement primaire : dégrillage ; dessablage/déshuilage aéré ;
- Traitement secondaire: boues activées à faible charge avec décantation secondaire ou lagunage aéré avec lagune de finition ;
- Si nécessaire désinfection par chloration ;
- Durée de stockage des eaux épurées 1 jour au minimum. [49]

La qualité des eaux usées épurées requise pour cette catégorie est :

- ✓  $DBO_5 < 25 \text{ mg/l}$  ;
- ✓  $DCO < 120 \text{ mg/l}$  ;

- ✓ MES < 25 mg/l ;
- ✓ pH : 6,5 à 8.

La qualité microbiologique des eaux usées épurées

- Nématodes intestinaux : < 1 (Nombre pour 100 ml) ;
- Coliformes fécaux : < 1000 (Nombre pour 100 ml)

### **II.4.3. Catégorie III**

Ce sont des stations d'épuration avec traitement primaire complet, avec moyens de gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle, d'exploitation et de pilotage adaptés. Le traitement secondaire biologique permet de pouvoir éventuellement assurer l'abattement de l'azote et du phosphore. Un traitement tertiaire de filtration-désinfection est opérationnel.

Le mode de traitement consiste en :

- Traitement primaire : dégrillage; dessablage/déshuilage aéré ;
- Traitement secondaire : boues activées à faible charge avec décantation secondaire ou lagunage aéré avec temps de séjour de 20 jours minimum.
- Lagune de finition avec temps de séjour de 2 jours minimum ;
- Durée de stockage des eaux épurées 1 jour au minimum ;
- Traitement tertiaire : filtration sur sable + stérilisation (UV par ex.) ou traitement par membranes + post-chloration éventuelle.

La qualité des eaux usées épurées requise est :

- ✓ DBO5 < 15 mg/l ;
- ✓ DCO < 90 mg/l ;
- ✓ MES < 5 mg/l.

La qualité microbiologique des eaux usées épurées est :

- Nématodes intestinaux : absence (Nombre pour 100 ml)
- Coliformes fécaux : < 250 (Nombre pour 100 ml). [49]

### **II.5. Spécifications physico-chimiques**

La qualité physico-chimique des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles doit être conforme aux normes suivantes (tableau II-1) :

**Tableau II-1** Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricole [49]

Paramètres	Symboles	Unité	Concentration maximale <sup>a</sup>	
Ph	-	-	6.5<pH<8.5	
Conductivité électrique	CE	dS/m	3	
Demande Chimique en Oxygène	DCO	mgO <sub>2</sub> /l	90	
Matières en suspension	MES	mg/l	30	
Chlorures	Cl	meq/l	10	
Sodium	Na	mg/l	1000	
Pourcentage de sodium adsorbé (infiltration)				
SAR= 0-3	SAR	dS/m	0.2	
SAR= 3-6			0.3	
SAR= 6-12			0.5	
SAR= 12-20			1.3	
SAR= 20-40			3	
Eléments toxiques <sup>b</sup>	Phénols	-	mg/l	0.002
	Aluminium	Al	mg/l	5
	Arsenic	As	mg/l	0.1
	Béryllium	Be	mg/l	0.1
	Bore	B	mg/l	2.0
	Cadmium	Cd	mg/l	0.01
	Cobalt	Co	mg/l	0.05
	Chrome	Cr	mg/l	0.1
	Cuivre	Cu	mg/l	0.2
	Cyanures	-	mg/l	0.05
	Fer	Fe	mg/l	5.0
	Fluor	F	mg/l	1.0
	Lithium	Li	mg/l	2.5
	Manganèse	Mn	mg/l	0.2
	Mercure	Hg	mg/l	0.001
	Molybdène	Mo	mg/l	0.01
	Nickel	Ni	mg/l	0.2
	Plomb	Pb	mg/l	5.0
Sélénium	Se	mg/l	0.02	
Vanadium	V	mg/l	0.1	
Zinc	Zn	mg/l	2.0	

(a) Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement ne se représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives ;

(b) Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

Du point de vue qualité physico-chimique, les mêmes spécifications sont applicables pour tous les types de système d'épuration.

## II.6. Spécifications biologiques

Dans l'objectif de préserver la santé et l'environnement, une classification qualitative selon le type de traitement appliqué aux eaux usées urbaines a été choisie.

Trois catégories de niveau de traitement serviront de référence. Chaque catégorie présentera des restrictions d'utilisation spécifiques conformément au Tableau II-2 et Tableau II-3. [49]

La qualité biologique des eaux usées destinées à l'irrigation doit être conforme aux normes suivantes :

**Tableau II-2 :** Concentration maximale tolérée en DBO<sub>5</sub> dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricole [49]

Paramètres	Unités	Symboles	Concentration maximale tolérée (Moyenne sur 24h)
Demande biologique en oxygène à 5 jours	DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	30

Le paramètre DBO<sub>5</sub> sera doté de la même valeur limite pour tous les types de système d'épuration.

**Tableau II-3** Spécifications microbiologiques des eaux usées épurées destinée à l'irrigation agricole [49]

Groupes de cultures à irriguer avec les eaux usées épurées	Culture à irriguer	Groupe exposé	Paramètres biologiques		Traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée
			Coliformes fécaux <sup>a</sup> (CFU/100ml)	Nématodes Intestinaux <sup>b</sup> (œufs/l)	
A	Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus	Population alentour Ouvriers agricoles Consommateurs	<100	Absence	Catégorie III
B	Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire	Population alentour Ouvriers agricoles	<250	<0.1	Catégorie III
C	Arbres fruitiers <sup>c</sup> Cultures et arbustes fourragers <sup>d</sup> Cultures céréalières Cultures industrielles Arbres forestiers Plantes florales et ornementales	Population alentour Ouvriers agricoles	Seuil recommandé <1000	<1	Catégorie II
D	Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée <sup>e</sup>	Aucun	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée	Catégorie I

<sup>a</sup> La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique.  
<sup>b</sup> La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique.  
<sup>c</sup> 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 interdite.  
<sup>d</sup> Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.  
<sup>e</sup> à condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène.

## **II.7. Cas de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation :**

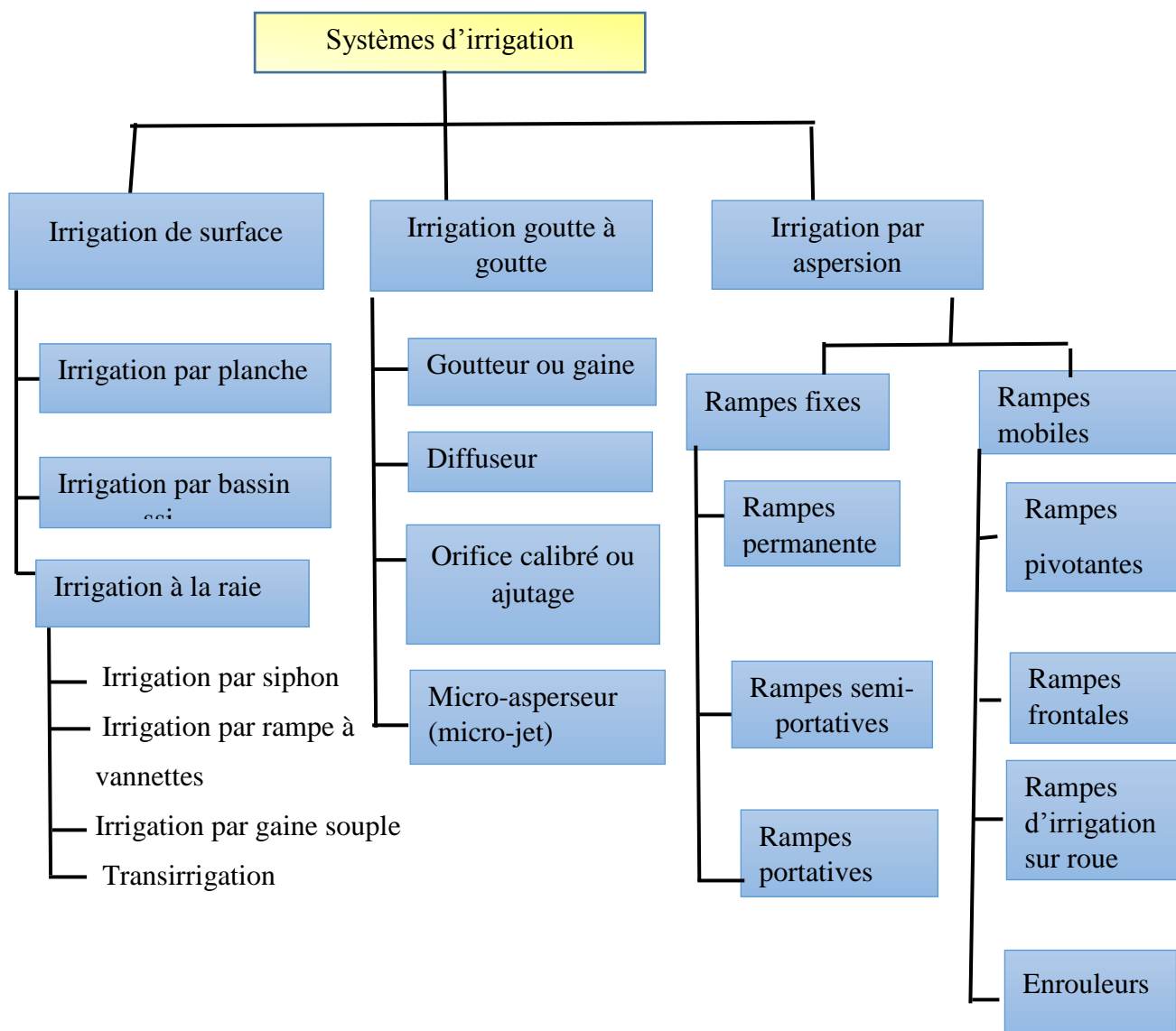
Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation.

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories: l'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. [51]

### **II.7.1. Techniques d'irrigation**

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation.

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories: l'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. [51]



**Figure I.6** Les différents systèmes d'irrigation [50]

Dans la pratique, on distingue l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion.

### II.7.1.1. Irrigation gravitaire

Il existe plusieurs manières de pratiquer l'irrigation gravitaire.

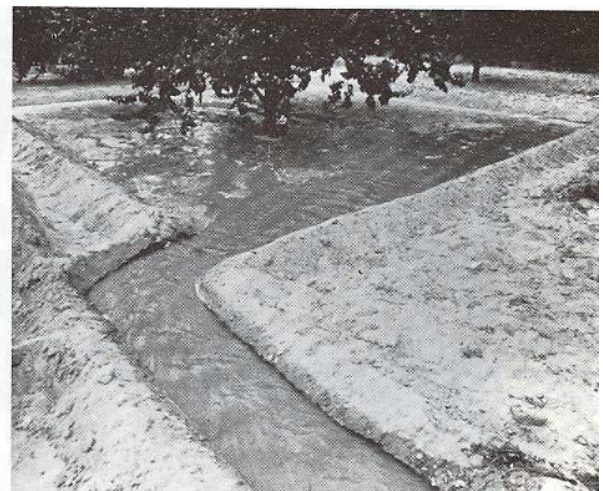
#### II.7.1.1.1. Irrigation par planche

Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol inclinée 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. [50]

#### II.7.1.1.2. 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. [50]



a) Irrigation par bassins à flanc de coteau fruitiers

b) Irrigation par bassins pour les arbres fruitiers

**Fig. II-2** Irrigation par bassins [50]

#### II.7.1.1.3. Irrigation par rigole

C'est la plus connue dans l'irrigation gravitaire, l'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 variant 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 raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents, un premier débit important qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien. [50]



**Fig. II-3** L'irrigation par rigole [50]

#### **II.7.1.1.4. 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. Ce type d'irrigation est d'un intérêt certain car il permet d'éviter la construction d'une "séguia" d'amenée, et donc tous les travaux liés à la distribution. Il permet également de réduire l'érosion du sol à la tête de la raie. Par ailleurs, l'irrigation par siphon permet une bonne répartition de l'eau. [50]



**Fig. II-4** : Alimentation des sillons par siphons [50]

### II.7.1.1.5. 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. [50]



**Fig. II-5:** Irrigation par rampe à vannettes [50]

L'autre avantage réside dans le fait que les débits obtenus sont plus précis et fiables. Cette technique présente l'avantage de ne pas gêner les travaux agricoles. Par contre, une étude de dimensionnement est nécessaire. [50]

### II.7.1.1.6. 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. Les gaines sont facilement installées sur le

terrain et demandent un investissement modeste. Cependant, elles présentent l'inconvénient d'être fragiles et le réglage des débits est peu précis. [50]



**Fig. II-6 :** Irrigation par gaine souple [50]

Parmi ces techniques d'irrigation gravitaire, les modes d'irrigation qui permettent une économie d'eau sont l'irrigation à la planche et l'irrigation par gaine souple, L'irrigation par rampe vannettes et par rigole semble la mieux adapté aux eaux épurées.

#### **II.7.1.2. 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 trop perméables**, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface;
- terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas l'établissement 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 sous pression 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.

La considération des facteurs suivants est nécessaire à la conduite d'un projet de dimensionnement de tout système d'irrigation sous pression: la dimension et la forme de la

surface à irriguer, sa topographie et le type du sol; les sources d'eau disponibles ou potentielles et leurs caractéristiques et Les conditions climatiques dans la région, l'accessibilité à la parcelle et la culture à irriguer. [50]



**Fig. II-7 :** Schéma type d'un réseau d'irrigation par aspersion [50]

#### **II.7.1.2.1. Les asperseurs**

L'eau débitée par les dispositifs d'aspersion est projetée en l'air et retombe sur le sol en arrosant un cercle autour de l'aspenseur. La plupart des asperseurs agricoles sont dotés d'un mécanisme à rotation lente, avec un battant, ou tournant (bateur en forme de coin et ressort, ou batteur et balancier à contrepoids) et fonctionnent avec une pression basse à moyenne (2 à 3,5 bars).

Ils sont munis de deux buses de projection de l'eau: la principale de longue portée, de plus gros diamètre, couvre la zone éloignée de l'aspenseur, tout en activant le mécanisme de rotation de l'aspenseur; la buse secondaire pulvérise l'eau à proximité de l'aspenseur. Les buses sont interchangeables pour permettre des variations de performance en fonction des besoins. Les asperseurs sont en laiton ou en plastique à haute résistance; la plupart comportent plusieurs pièces en laiton et d'autres en plastique. L'axe et le ressort sont faits d'acier inoxydable. Les principales caractéristiques des asperseurs utilisés par les systèmes à tuyaux flexibles sont les suivantes:

- deux buses: 3–6 mm (longue portée) x 2,5–4,2 mm (proximité);
- basse à moyenne pression de fonctionnement: 1,8–3,5 bars;
- débit hydraulique: 1,1–3 m<sup>3</sup>/h;
- diamètre de couverture (arrosé): 18–35 m;

- angle du jet: 20°–30° (sauf lorsqu'un angle très faible est requis, par 3 exemple en cas de vents forts, ou d'eaux traitées);
- type de raccord: fileté interne ou externe 0,5–1 pouce.

Afin d'assurer une aspersion satisfaisante avec des asperseurs rotatifs conventionnels, la pression minimale de fonctionnement doit être au moins de 2 bars. [50]

#### **II.7.1.2.2. Avantages**

Les avantages de l'irrigation par aspersion sont :

- Efficience d'irrigation élevée: 75 pour cent.
- Conception simple, installation et fonctionnement simplifiés.
- Adaptabilité à tous les types de sols, à de nombreuses espèces de cultures et à de petites parcelles irrégulières.
- Moindre coût par rapport à bien d'autres systèmes modernes d'irrigation.
- Ne nécessite pas de main-d'œuvre qualifiée. [50]

#### **II.7.1.2.3. Inconvénients**

Les inconvénients liés à l'irrigation par aspersion sont :

- Pénible et déplaisant labeur de déplacement des asperseurs avec leurs tuyaux flexibles.
- Longue durée du cycle d'irrigation.

#### **II.7.1.3. 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. 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. [50]



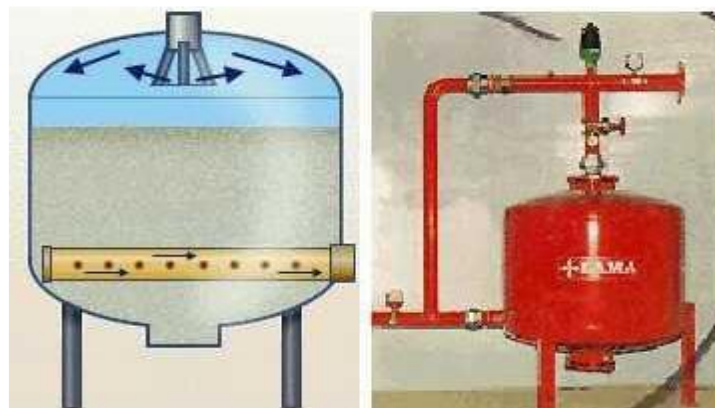
**Fig. II-8 :** Système d'irrigation localisée [50]

#### II.7.1.3.1. Composition d'une installation goutte à goutte

Un réseau goutte à goutte comprend :

- **Point de fourniture d'eau :** une crépine filtrante peut être nécessaire si la ressource en eau, constituée par un petit barrage (lac collinaire) ou un cours d'eau, contient de la matière organique ou des particules en suspension, mais non si elle est relativement propre.
- **L'unité de tête :** cette unité est reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des portes rampes ou même des rampes.

Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles, azote en particulier : c'est un petit récipient sous pression avec une entrée et une sortie. [51]



**Figure II-9:**Filtre à gravier [50]

#### - Conduites et rampes

- **La conduite principale :**

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte-rampes. Elle peut être en amiante ciment, en PVC rigide, en polyéthylène (PE) à haute densité peut également être utilisé.

- **Le porte-rampe :**

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

- **Les rampes :**

Ce sont les conduites qui généralement en PEBD (polyéthylène basse densité), et sont équipés de distributeurs. Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé.

- **Les distributeurs :**

Les distributeurs constituent la partie essentielle de l'installation. C'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (quelques l/h). Il existe de nombreux types différents, des ajutages ou des mini diffuseurs dont le débit est un peu plus important (quelques dizaines de l/h). [51]



**Fig. II.10:** Exemple d'un goutteur [50]

#### **II.7.1.3.2. Nécessité de l'irrigation en goutte à goutte**

L'irrigation améliore l'établissement des arbres, l'utilisation des éléments nutritifs, la surface du feuillage et la santé des arbres. Elle améliore également la taille et la qualité du fruit.

L'irrigation goutte-à-goutte est fondée sur le concept de la prévention plutôt que le soulagement du stress hydrique.

La réponse des cultures à cette approche est positive. Les avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte sont :

- la technique est facilement automatisée;
- l'arrosage peut se faire par temps venteux ou pendant la pulvérisation;
- le feuillage n'est pas mouillé, ce qui réduit les problèmes de maladies;
- l'eau n'entre pas en contact avec le produit, donc le risque de la salubrité des aliments lié à l'eau de qualité inférieure est réduit. [51]

### **II.7.2. Les types de culture en fonction de la qualité des eaux (normes algériennes)**

#### **II.7.2.1. Cas des effluents issus des stations d'épuration de catégorie I et II**

Les effluents issus des stations d'épuration catégorie I et II et qui conviennent pour l'irrigation des cultures du groupe C et D de la présente norme. Celle de Ain el Houtz est de catégorie I.

Il est par conséquent interdit d'irriguer les cultures maraîchères. Il est également interdit de pratiquer le pâturage direct. [49]

La présente norme fixe de manière exhaustive les cultures pouvant être irriguées par ce type d'eau, à savoir :

- ❖ Les arbres fruitiers : dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nèfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
- ❖ Les agrumes : Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine
- ❖ Les cultures fourragères : Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
- ❖ Culture industriel : Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, le tabac, le lin.
- ❖ Les cultures céréalières : Blé, orge, triticales et avoine.
- ❖ Les cultures de production de semences : Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
- ❖ Les arbustes fourragers : l'Acacia et l'Atriplex

Les plantes florales à sécher ou à usage industrielle : rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin. [49]

---

## II.8. Détermination des besoins en eau des cultures

Le besoin en eau d'une culture est la hauteur d'eau en mm, nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, établit dans un champ de grande superficie, dans les conditions de sol non limitantes du point de vue de la disponibilité de l'eau, de la fertilité et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données [60].

La détermination des besoins en eau est nécessaire pour :

- projet d'irrigation : conception des réseaux d'irrigation (calcul du débit de dimensionnement des ouvrages),
- gestion des réseaux d'irrigation : prévision à court terme (programmation des apports d'eau),
- pilotage des irrigations,
- planification de l'utilisation des ressources hydrauliques : volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, surfaces irrigables au vu des ressources, etc.

Un couple sol/ plante, en réponse à une demande climatiques (effets combinées de la température, vent ensoleillement, humidité), va respectivement évaporer et transpirer l'eau qu'elle a sa disposition. On quantifie ce phénomène : l'évapotranspiration de référence ETP, exprimée en mm d'eau/jour. Elle est déterminée de manière théorique pour un couvert végétal de type gazon, recouvrant entièrement le sol. [62]

L'ETR, l'évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau qu'évapore le sol et transpire la plante par jour dans les conditions culturales normales. Il est difficile à calculer cette valeur car elle dépend du stock d'eau à l'instant t, par contre elle se mesure. Ainsi on utilise l'ETM, soit l'évapotranspiration maximal qui se calcul en fonction de l'ETP et d'un coefficient cultural  $K_c$  qui correspond au stade de développement de la plante

$ETM = k_c \cdot ETP$  (en mm d'eau/ jour). [64]

### II.8.1. Détermination de l'ETP

Le calcul de l'ETP se fait à partir des données climatiques. Il existe plusieurs formules empiriques pour calculer ce paramètre. Parmi ces formules, on peut citer :

- Méthode de Thornthwaite (1948) : Ce chercheur a tenté de relier l'ETP à des paramètres facilement accessibles : la température moyenne de l'air sous abri (donnée atmosphérique) et la durée théorique de l'insolation (donnée astronomique,

fonction de la saison et de latitude. La méthode de Thornthwaite permet de calculer ponctuellement (en une station) le bilan d'eau mensuel et annuel à partir des valeurs mensuelles des précipitations et des valeurs moyennes mensuelles des températures.

Le calcul de l'ETP mensuelle n'est possible que si la température moyenne mensuelle est inférieure ou égale à 38°C [63].

La Formule de la méthode Thornthwaite est la suivante :

$$ETP = \left(16 \cdot \frac{10 \cdot T}{I}\right)^a \quad (8)$$

Avec :

ETP (m) : Evapotranspiration moyenne de mois m (m = 1 à 12) en mm<sup>a</sup>

T : Température moyenne de la période considérée (°C)

a : fonction complexe d'indice I et a = 0.016 \* I + 0.5

I : indice théorique annuel, somme de 12 indices mensuels

$$\text{et } I = \sum_1^{12} i \text{ et } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}$$

- Méthode de Blaney-Criddle(1950) : La formule de Blaney –Criddle est l'une des plus couramment utilisées pour estimer les besoins en eau des cultures. L'approche originale de Blaney –Criddle fait intervenir la température (T) et le pourcentage d'heures diurnes (p) comme variable climatique pour prédire l'effet du climat sur l'ETP [60].

L'évapotranspiration de référence en mm/ jour ou période considérée est donnée par la formule suivante :

$$ETP = \left(\frac{0,254 \cdot k}{1,8 \cdot T} + 32\right) p \quad (9)$$

k: coefficient cultural constante de chaque culture

T : température moyenne de la période considérée

p: pourcentage d'heures de lumière du jour par an pendant la période considérée.

- Méthode de Turc(1962) : La formule de turc fait intervenir la température moyenne mensuelle, la radiation globale du mois considéré et l'insolation relative. Dans ce cas, l'ETP est exprimée en mm/mois selon la formule suivante :

$$ETP = (I_g + 50) \cdot \frac{t}{t + 15} \cdot \left(1 + \frac{50 - ur}{70}\right) K \quad (10)$$

Avec :

$$I_g = I_g A. \left( 0,18 + 0,62. \frac{h}{H} \right) \quad (11)$$

Où

t : température moyenne mensuelle de l'air en °C

I<sub>g</sub> : radiation globale moyenne du mois petites calories par cm<sup>2</sup> et par jour sur une surface horizontale.

I<sub>gA</sub> : valeur théorique de la radiation globale (énergie en absence d'atmosphère)

h : durée de l'insolation mensuelle effective.

H : durée mensuelle du jour.

ur : humidité relative moyenne mensuelle de l'air.

K : valeur constante égale 0.37 pour février et 0.50 pour tous les autre mois pour les valeurs de ur > 50 l'expression  $\frac{1+50-ur}{70}$  est prise égale à 1

#### ➤ Méthode de Penman- Monteith (1975)

Dans la région où l'on dispose de mesures de la température, de l'humidité, du vent et des heures d'insolation effective ou du rayonnement, on préconise d'utiliser La formule de Penman modifiée car c'est celle qui donne les résultats les plus satisfaisants pour estimer l'effet du climat sur les besoins en eau des cultures.

La formule de Penman- Monteith est une combinaison du bilan énergétique et de la méthode de transfert de masse. Parmi les différentes méthodes de calcul des ETP, elle est recommandée par la FAO [60].

Cette formule brute se présente comme suit :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34. U_2)} \quad (12)$$

Avec

$$U_2 = \left[ \left( U_{10} \frac{4,87}{(\ln(67,8.10 - 5,42))} \right) \cdot \frac{5280}{3,2808.0.60} \right] \quad (13)$$

Où :

ET<sub>0</sub>: évapotranspiration de référence (mm/j)

R<sub>n</sub>: rayonnement net (MJ/ m<sup>2</sup>/j)

G : flux de la chaleur de sol (MJ/ m<sup>2</sup>/j)

( $e_s - e_a$ ) : représente le déficit de pression de vapeur d'air (kPa)

$e_s$ : pression de vapeur de saturation d'air (kPa)

$e_a$  : pression réelle de vapeur d'air (kPa)

$\Delta$ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température (kPa/°C)

$\gamma$ : constante psychométrique, (kPa/°C)

$U_2$  : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètres (m/s)

900 : coefficient pour la culture de référence (kg K /KJ) liées aux unités utilisées à distribution de variables  $p$ ,  $C_p$  et  $r_a$ .

0.34 : coefficient de vent pour la culture de référence (kg k/KJ) résultant du rapport  $r_s/r_a$ ,

0.408 inverse de  $\lambda = 2.45$  MJ/kg.

$U_{10} = 17.8$  (mn/h)

### II.8.2. Besoin en eau net d'irrigation

Le besoin net est la quantité qui doit être effectivement consommée par la plante

$$B_n = ETM - P_u - R \quad (14)$$

Avec

$B_n$  le besoin net en mm ;

$P_u$  : fraction des précipitations stockées dans la zone racinaire (appelée aussi pluie efficace). Elle est généralement considérée comme étant 80% de la pluie totale (la pluie tombée) ;

$R$  : ruissellement de l'eau de la pluie.

Pour trouver ce besoin en  $m^3/ha$ , on le multiplie par un facteur d'ajustement des unités. Ce facteur est de 10. [64]

Pour certains pays africains, le prélèvement d'eau pour l'irrigation est corrigé ; cette correction est appliquée lorsque la part de la superficie équipée pour l'irrigation en maîtrise totale représente moins de 50 pour cent de la partie réellement irriguée de la superficie totale équipée pour l'irrigation [64].

Ce ratio de correction  $E$  est de 0.72 en Algérie [64].

# Chapitre III Présentation des zones d'étude

## Chapitre III : Présentation des zones d'étude

### Introduction

Ce siècle dernier, les cours d'eau étaient sujets à une pollution sans précédent, cela était dû aux rejets directs des eaux usées, ce qui exposait les populations à des maladies comme la typhoïde et le choléra, une contamination du bétail et des cultures irriguées à partir de ces eaux. On assistait aussi à une insuffisance des ressources en eau. C'est pour pallier à tous ces problèmes que les stations d'épuration ont vu le jour.

C'est dans cette optique qu'en 2005, la wilaya de Tlemcen a été dotée d'une station d'épuration à boue activée à Ain El Houtz.

Dans ce chapitre, nous allons faire une présentation de la station d'épuration d'Ain El Houtz à travers la description de ses ouvrages, son principe de fonctionnement puis une présentation du périmètre irrigué de Hennaya.

### III.1. Présentation de la STEP d'Ain el Houtz

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au nord du chef-lieu de « Tlemcen-Ville », à l'ouest de Chetouane « Daïra » sur la Route de Ain El Houtz conçue pour une population de 150 000 eq/hab. D'une capacité de 30 000 m<sup>3</sup>/j, elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement et mise en service le 05 Novembre 2005 gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement. [54]



**Fig. III-1** photo de la vue de la Station d'épuration d'Ain El Houtz ([www.google.map.com](http://www.google.map.com))

### III.1.1. Données de base

La station d'épuration de la ville de Tlemcen a été dimensionnée sur la base des données suivante :

- ✓ Horizon: 2005
- ✓ Nature des eaux : domestiques
- ✓ Types de réseau : unitaire

**Tableau III-1** Les valeurs de bases des données de la STEP de Tlemcen [54]

Paramètres	Unité	Valeurs
Population	Eq/hab	150000
Débit journalier	m <sup>3</sup> /j	30000
Débit de pointe horaire admit par le traitement	m <sup>3</sup> /h	3800
BDO <sub>5</sub> journalière	Kg/J	9300
Matière en suspension	Kg/j	13950
Azote nitrifié	Kg/j	1980
L'équivalence calculée sur la DBO	Eq/hab	172000

### III.1.2. Principe de fonctionnement

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type Boues activées à faible charge, dimensionnée pour épurer les eaux usées d'origines domestiques pour traiter la charge carbonée, azotée et phosphorée.

Le procédé à boues activées consiste en un réacteur biologique aérobie où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons appelés bioflocs.

Le réacteur est alimenté en eau polluée et le mélange eau-bioflocs est appelé liqueur mixte. La liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent, par un système d'aération qui est du type de surface, il s'agit de turbines d'aération. De l'oxygène dissous est donc introduit dans la masse de la liqueur mixte nécessaire pour la respiration et le développement des microorganismes aérobies. [54]

### III.1.3. Description d'installations de la STEP

La STEP de Ain El Houtz comprend :

#### III.1.3.1. Pour la filière eau

Les eaux usées collectées par le réseau d'assainissement sont dirigées vers la station d'épuration pour suivre un traitement qui se traduit par le passage par plusieurs compartiment dont :

##### III.1.3.1.1. Un déversoir d'orage

Le déversoir d'orage est le premier ouvrage de la station, il reçoit les eaux brutes collectées par le réseau d'assainissement (fig. III-2). Il est dimensionné pour prendre en charge un maximum de 3300 m<sup>3</sup>/h. [54]. Au-delà de cette charge pendant les averses par exemple, le surplus est évacué dans le by-pass vers l'oued.

L'eau usée à traiter arrive gravitairement à la tête de la première filière du traitement à l'aide d'une conduite de 800 m de diamètre qui s'appelle liaison entre ouvrage. Afin de ne pas perturber le bon fonctionnement de la station d'épuration par des matières lourdes volumineuses ou difficilement biodégradables, le traitement biologique est précédé d'un prétraitement adéquat. [54]



Fig. III-2 photo du déversoir d'orage [54].

##### III.1.3.1.2. Deux dégrilleurs

La station de Ain El Houtz est équipée d'un dégrilleur manuel avec des grilles grossières dont la largeur de la grille est 1,8m; l'angle d'inclinaison est de 70% et l'écartement entre les barreaux est de 50mm (fig. III-3) et de deux unités de grilles mécaniques dont la largeur de la

grille est 1,0m, la profondeur du chenal est de 1,5m, l'écartement entre les barreaux est de 20mm avec une puissance du moteur de l'ordre de 0,37KW (fig. III-4). [54]

Le dégrilleur manuel a pour principal avantage de remplacer le dégrilleur mécanique en cas de panne ou de coupure.



**Fig. III-3** photo de la grille grossière manuelle [54].



**Fig. III-4** photo de la grille mécanisée [54].

### III.1.3.1.3. Dessableur-déshuileur

Le dessableur-déshuileur est de type longitudinal à deux compartiment, il est constitué d'un canal en béton armé de forme trapézoïdale dont la longueur est de 26m et la largeur de 4m et une hauteur de 9 m, il est équipé d'un pont suceur et écumeur (fig. III.5). [54]



**Fig. III-5** photo du dessableur-déshuileur [54].

### III.1.3.1.4. Bassins d'aération

La STEP de Ain El Houtz est composée de quatre bassins de forme rectangulaire alimentés en eau dénitrifiée équipé chacun de trois aérateurs de surface (75 kW chacun) pour assurer l'aération du milieu (fig. III.6). [54]

C'est le lieu de la dégradation de la matière organique par les bactéries qui consomment l'oxygène et se nourrissent de la pollution organique.

Chaque bassin a un volume de  $4723\text{m}^3$ , une longueur de 55,5m, une largeur de 18,5, la profondeur d'eau est de 4,6m la hauteur béton est 5,6m. [54]



**Fig. III-6** photo des bassins d'aérations [54].

L'alimentation des bassins d'aération est réalisée par une conduite en béton débouchant dans un canal de répartition situé en amont. Dans le cas où un bassin est hors service, les eaux seront distribuées vers les trois autres bassins en service. Pour la vidange éventuelle des bassins d'aération, deux pompes sont prévues à la sortie des bassins.

Le bassin d'aération est conçu pour assurer un brassage homogène de la boue, éviter les dépôts de matières en suspension et l'érosion du fond ou des parois de l'ouvrage. Les bassins d'aération sont équipés d'aérateur de surface de type à axe vertical et à vitesse de rotation lente. Chaque aérateur est monté sur une passerelle en béton armée avec garde corps. Les passerelles reposent sur quatre poteaux en béton armé.

#### ❖ **Equipement des bassins**

Les bassins d'aérations comprennent :

- 04 vis d'Archimède (débit unitaire  $1300 \text{ m}^3/\text{h}$ ), pour la recirculation interne de la liqueur mixte afin d'éliminer l'azote dans le bassin d'anoxie ;
- 04 mélangeurs submersibles de 4 kW chacun pour l'homogénéisation (en panne) ;
- 04 déversoirs ;
- 12 aérateurs de surface (75 kW chacun) ;

- 04 sondes de mesure d'oxygène dissous. [54].

❖ **Bassin de nitrification dénitrification**

L'eau prétraitée arrive premièrement dans ce bassin pour faire l'élimination de la pollution azotique à partir des bactéries spécifiques (Nitrosomonas, Nitrobacter). Le bassin à une forme rectangulaire est équipé d'un mélangeur de fond pour assurer l'agitation du milieu, et après l'eau nitrifiée dénitrifiée est déversée vers les bassins d'aération.

Chaque bassin a les dimensions suivantes :

- Volume 725 m<sup>3</sup>, - Longueur 17,56 m, - Largeur 8,5 m, - Hauteur du béton 5,6 m, - Hauteur d'eau 4,9 m [54].



**Fig. III-7** Photo du bassin de nitrification dénitrification [54]

- **Tour de répartition**

La liqueur mixte en provenance des bassins d'aérations est transportée gravitairement vers une chambre de répartition divisant les eaux vers les 02 bassins de décantation secondaires. Chaque déversoir de cette tour est équipé de glissières destinées à recevoir des batardeaux

d'isolement pour éventuellement by-passer un ou les deux décanteurs. Dans ce cas, la liqueur mixte sera évacuée via le trop plein de sécurité de cet ouvrage vers le by-pass générale de la station. La tuyauterie noyée dans le béton du radier est de 600 mm de diamètre. [54].

#### III.1.3.1.5. Décanteurs secondaires ou clarificateurs

Le rôle de la décantation secondaire est d'assurer une meilleure séparation de la biomasse de l'eau traitée et de permettre par ailleurs un premier épaissement des boues biologiques décantées. La liqueur mixte de boues activées formée ainsi dans le réacteur biologique est ensuite dirigée sur l'ouvrage de décantation secondaire. Ce dernier est alimenté par le centre à travers une conduite d'alimentation, sous le radier, débouchant à l'intérieur de la jupe de répartition (Clifford ) [54].

Le but de cette opération est la séparation de l'eau épurée des boues qu'elle contient. La liqueur mixte est introduite en son centre. L'eau clarifiée déborde en périphérie dans une double goutte de reprise et les boues décantées se déposent sur le radier et seront raclées vers le centre de l'ouvrage où elles s'épaississent légèrement.

La STEP est constituée de deux décanteurs de forme circulaire avec un diamètre de 46m et une surface de 1661m<sup>2</sup> (fig. III-8). Chaque décanteur est équipé d'un pont racler à vitesse de rotation 0,04m/s qui assurent le raclage des boues mortes et tous autres matériaux à la surface et au fond pour éviter le colmatage du décanteur avec une profondeur d'eau de 4m en périphérie.



**Fig. III-8** photo des clarificateurs [54].

Les eaux clarifiées sont ensuite recyclées vers la dernière étape de traitement et qui est la désinfection et le traitement des boues décantées, elles sont envoyées vers la tour de recyclage ou vers l'épaisseur [54].

#### **III.1.3.1.6. Bassin de chloration**

La STEP de Ain El Houtz est dotée d'un bassin de chloration en béton armé d'un volume de l'ordre de 700 m<sup>3</sup> mais ce traitement n'est pas effectué dans cette station car les eaux sont destinées à l'irrigation. (Fig. III-9).



**Fig. III-9** photo du bassin de chloration [54].

#### **III.1.3.2. Pour la filière boue**

La boue produite pendant l'épuration est recyclée pour une partie vers les bassins d'aérations et l'excès est dirigé vers la filière de traitement des boues qui comprend :

##### **III.1.3.2.1. Un poste de pompage des boues avec pompe de recirculation**

Les boues décantées sont acheminées par une tuyauterie vers deux fosses de pompage des boues de recirculation et des boues en excès pour assurer un traitement biologique efficace. Pour maintenir un taux de MES stable dans le bassin d'aération, il est nécessaire de faire recirculer une partie des boues qui sont extraites du décanteur secondaire vers l'entrée du bassin d'aération. Ces boues sont appelées boues de retour ou de recirculation.

Le poste de pompage des boues est doté de trois (03) vis sans fin de recirculation de la boue pour maintenir la concentration de celle-ci dans le bassin d'aération

Il assure le pompage des boues du fond des décanteurs secondaires vers l'épaississeur et en même temps la recirculation des boues en excès vers le bassin d'aération par des vis de recirculation. Les vis de recirculation sont au nombre de trois (3) qui fonctionnent par alternance (fig. III-10) [54].



**Fig. III.10** photo de la vis de recirculation [54].



**Fig. III-11** photo du local de pompage à vis [54].

#### III.1.3.2.2. Épaississeur à boue

Il est en béton armé avec un diamètre de 14m, une hauteur utile de 4m avec une pente de fond de 1/10 et un pont support de la tête tournante avec moteur et réducteur (fig. III-12). [54]



**Fig. III-12** photo de l'épaississeur [54]

#### III.1.3.2.3. Lits de séchage

La boue épaissie est prise par pompage et évacuée vers les lits de séchages. Le séchage de boues s'effectue à l'air libre dans des surfaces d'étendues de 30 m de longueur et 15 m de largeur. Il existe 14 lits de séchage conçus d'un béton équipé d'une conduite de drainage perforée, pour permettre l'évacuation de l'eau filtrée vers l'entrée de la station. [54].

(Fig. III.13).



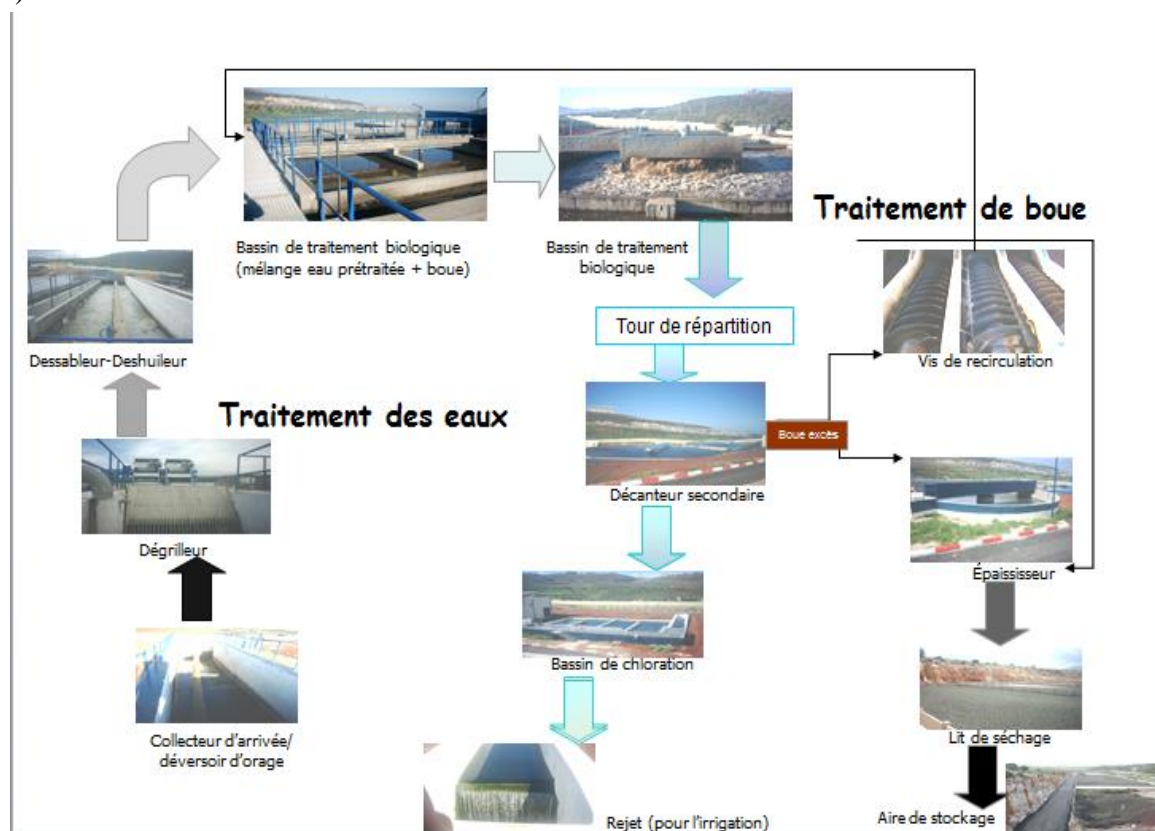
**Fig. III-13** photos du lit de séchage [54].

Une fois les boues séchées, elles sont évacuées des lits de séchage puis stockées dans l'aire de stockage (fig. III-14).



**Fig. III-4** photo des lits de séchages + aire de stockage [54]

Le procédé d'épuration de la STEP de Ain El Houtz se résume dans la figure ci-dessous (fig. II.15).



**Fig. III-15** Procédé d'épuration de la STEP de Tlemcen

Une fois, les eaux sorties de la STEP, elles sont dirigées vers le bassin de régulation de l'ONID avant d'être acheminées vers le périmètre irrigué de Hennaya.

### **III.2. Présentation du périmètre irrigué de Hennaya**

Le périmètre d'irrigation d'Hennaya est situé dans la partie nord du chef-lieu de la commune. Il est situé à 11km en aval de la station d'épuration d'Ain El Houtz.

Il est limité :

- A l'Est par la route départemental N°38 reliant Hennaya à Bensekrane ;
- A l'Ouest par la route national N°22 reliant la ville de Tlemcen à la ville d'Oran ;
- Au Nord par la route départementale qui mène au village d'Ain Youcef ;
- Au Sud par la ville de Hennaya [55].

#### **III.2.1. Superficie du périmètre**

Le périmètre d'irrigation de Hennaya a une superficie de 912 Ha équipé dont 745 Ha exploité [55]. Les terrains pris en considération pour l'irrigation ont un caractère fortement plat avec une pente régulière de 1,7 %. L'altitude des terrains prise en considération est entre 304,00 m et 358,00 m.

#### **III.2.2. Situation de l'AEP de la commune de Hennaya**

L'agglomération de Hennaya est alimentée en eau potable à partir de deux réservoirs, l'un au niveau de la zone industrielle et l'autre au niveau du cimetière Chouhada à l'entrée l'agglomération.

Le réservoir au niveau de la zone industrielle a une capacité de stockage de 1000 m<sup>3</sup>, il est alimenté à partir d'un forage dont le débit est de 17l/s.

Le réservoir situé à l'entrée de l'agglomération au niveau du cimetière Chouhada a une capacité de 500m<sup>3</sup>, il est alimenté à parti d'un piquage sur la conduite CBBO d'un débit de 20l/s et également d'un piquage sur la conduite SEKKAK d'un débit de 30l/s.

Les deux sources (Ain Guillot et Ain Seffah) sont à sec et non exploitables.

Les volumes mobilisés sont loin d'assurer une dotation satisfaisante (taux de satisfaction 60%). Il est à noter que les pertes d'eau non négligeables sont enregistrées au niveau du réseau de Hennaya centre.

La commune de Hennaya a bénéficié durant l'année 2014 d'une production de moyenne de 9900m<sup>3</sup>/j à partir de la station de dessalement de Hounain et celle de Souk El Télata. [56]

### III.2.3. La Situation de l'assainissement de la commune de Hennaya

L'agglomération de Hennaya est assainie par quatre principaux réseaux autonomes de type unitaire. Cette infrastructure d'assainissement assure un taux de raccordement satisfaisant de l'ordre de 100%. Cependant, la totalité des eaux résiduelles sont rejetées sur l'Oued Seffah appelé aussi Oued Galian qui est le principal collecteur des effluents urbains, accentuant ainsi les risques de pollution.

Néanmoins, certains quartiers notamment la cité de 120 logements, Der Ain El Hout, la cité de la Gare et de Graba et la partie sud de khémisti sont confrontés à des inondations en raison de la nature des terrains, du sous dimensionnement de certains collecteurs et de l'insuffisance des avaloirs et des caniveaux. [57]

### III.2.4. Relief de la commune

La commune de Hennaya se situe au centre d'une vaste plaine encaissée entre deux chaînes de montagnes (une au nord : monts des Traras, Sebâa Chiokhet les monts de Tessalas, l'autre au sud : monts de Tlemcen) ; cette plaine est une continuité de la plaine de Tlemcen qui la surplombe par une série de gradins du massif de Tlemcen. L'espace de la commune de Hennaya est formé de riches plaines agricoles. [58]

### III.2.5. Caractéristiques climatiques

- **Précipitations** : les précipitations moyennes annuelles sont de 525 mm pour la station de M'lila Hennaya.

La saison humide qui dure huit (08) mois (d'Octobre à Mai) où la pluviométrie atteint 93% des précipitations totales annuelles avec des maximums répartis entre Février et Mars qui dépassent les 15% et des minimums qui ne descendent pas au-dessous de 6% en Octobre. Une saison sèche de quatre mois (Juin – Septembre) avec des minimums en Juillet et Août généralement 1% des pluies annuelles. [55]

- **Température** : l'analyse des températures dans la zone d'étude met en évidence que le mois de Janvier est le plus froid avec une température de 8°C à 11,5°C et que le mois d'Août est le plus chaud avec une température qui fluctue entre 24.2°C et 26.5°C. La température minimale moyenne interannuelle de l'air varie dans les limites de 15.4°C jusqu'à 18°C.

Les valeurs minimales d'humidité relative mensuelles se produisent en Juillet-Août et les maximums généralement en Décembre et Janvier. [55]

- **Les vents** : les vitesses des vents sont stables tout au long de l'année. [55]

- **Le sirocco** : aucune journée de sirocco n'a été observée pendant les mois froids, et que le maximum de nombre de jours de sirocco est atteint en période estivale (Juillet-Août). [55]
- **L'insolation** : l'insolation dans cette zone est d'environ 3000 heures/an en moyenne de 8,2 heures/jours. [55]
- **La gelée** : le phénomène de la gelée n'est pas fréquent, il apparait uniquement en janvier avec une moyenne d'une journée par an. Pour Tlemcen et Zenata, ce phénomène est fréquent en hivers (novembre + avril) avec un maximum qui varie de 5 à 8 jours au mois de Janvier, il y'a donc un grand risque de gelée surtout au mois de janvier. [55]

### III.2.6. Pédologie de la commune

Quatre catégories de sols sont dégagées au périmètre de la plaine de Hennaya :

- **Catégorie I** : sols a sesquioxydes de fer (8.6 ha) : ce sont des sols à sesquioxydes de fer, sols rouges formés sous un climat de type méditerranéen, sols à réserve calcique et plus souvent peu lessivés, recalciifiés, profonds, type limono argileux, les travaux d'aménagement recommandés et l'irrigation par aspersion.[55]
- **Catégorie II** : sols iso-humiques (238.5 ha) : marron encroûté et des sols calcimagnésiques carbonates bruns calcaires modaux, les travaux d'aménagement recommandés, irrigation par aspersion, amendements en matière organiques et minérales. 55]
- **Catégorie III** : Sols iso-humiques marron encroûté (427.2 ha) : ce sont des sols à complexe saturé type limono argileux, les travaux d'aménagement recommandés sont lessivage. [55]
- **Catégorie IV** : Ce sont des sols inaptes à l'irrigation. La superficie est de (104.9 ha). La présence de la croûte calcaire à la profondeur >40 cm. L'examen des caractéristiques hydrodynamiques des sols du périmètre de Hennaya montre que dans l'ensemble, les sols possèdent des caractères homogènes. La perméabilité des sols est moyenne pour la majorité des sols ( $K=1.1$  à  $9.9$  cm/h), le drainage latéral est faible ( $K=0.089$  à  $0.20$  m/j), la roche mère calcaire (croûte et encroûtement), perméable ne pose pas de problème de drainage, toute fois, un assainissement de surface s'impose pour éviter des engorgements qui peuvent subvenir lors des irrigations. [55]

### III.2.7. Ressource en eau

L'alimentation en eau du périmètre est assurée par les eaux recyclées en provenance de la station d'épuration de la ville de Tlemcen située à Ain El Houtz et les eaux issues des forages. Le volume recyclé est environ 11 million m<sup>3</sup> /an soit un volume de 30000m<sup>3</sup>/jour (volume qui reste non atteint à ce jour). [55]. Cette eau sera stockée au niveau du bassin de régulation qui assurera la distribution au niveau du périmètre.

#### III.2.7.1. Bassin de régulation

Il s'agit d'un bassin en béton armé d'une capacité de 9300m<sup>3</sup>, il est implanté à la cote 525m. [55]. Il est localisé juste à la sortie de la station d'épuration équipé de deux chambres de vanne, suite à la sortie de cette eau elle sera transportée par deux types de réseau qui sont un réseau d'adduction et un réseau de distribution.

- ❖ **Réseau d'adduction** : il fait la liaison entre le bassin de régulation et l'entrée du périmètre sur un linéaire total de 14880ml. Composé d'une conduite principale DN700 sur un linéaire de 2897ml et de deux conduites secondaires DN 600 avec une pression de 10bars sur un linéaire de 2016 ml et 16 bars sur un linéaire de 6589ml et d'une conduite DN 800 sur un linéaire de 3378ml en béton précontraint posées en parallèle qui se séparent à un certain point. Sur le long de ce réseau deux brises charges BC1 d'une capacité de 202m<sup>3</sup> et BC2 d'une capacité de 152m<sup>3</sup> et des ouvrages de franchissement dont 14 unités de vanne à opercule de diamètre 10mm et 13 unités de ventouses de diamètre 100mm installés dans le but de réguler le débit de chaque conduite (canalisation DN600mm et canalisation DN 800 mm) entre le point aval et le point amont pour l'adapter à la consommation.

Le réseau d'adduction comprend également six chambres de vannes avec équipements hydromécanique à savoir :

- ✓ CV N°1 du côté bassin de régulation ;
- ✓ CV N°2 du côté du bassin de régulation ;
- ✓ CV N°3 à l'entrée de la brise charge N°1 ;
- ✓ CV N°4 à la sortie de la brise charge N°1 ;
- ✓ CV N°5 à l'entrée de la brise charge N°2 ;
- ✓ CV N°6 à la sortie de la brise charge N°2

- ❖ **Réseau de distribution** : il représente l'entrée du périmètre. Il est composé de quatorze (14) conduites principales avec leurs ramifications de différents diamètres allant de 90 mm à 500 mm en PVC. Il s'étend sur un mètre linéaire de 26760,22ml et 1622,2 ml de conduites en acier de diamètres allant de 80m à 800mm, de 102 bornes d'irrigation avec leurs regards de protection, de 139 prises, de 242 vanne à opercule de diamètre 80-350mm, de 2 unités de vanne papillon de diamètres 600mm et de 74 unités de ventouses de diamètre 80-100mm .[55]

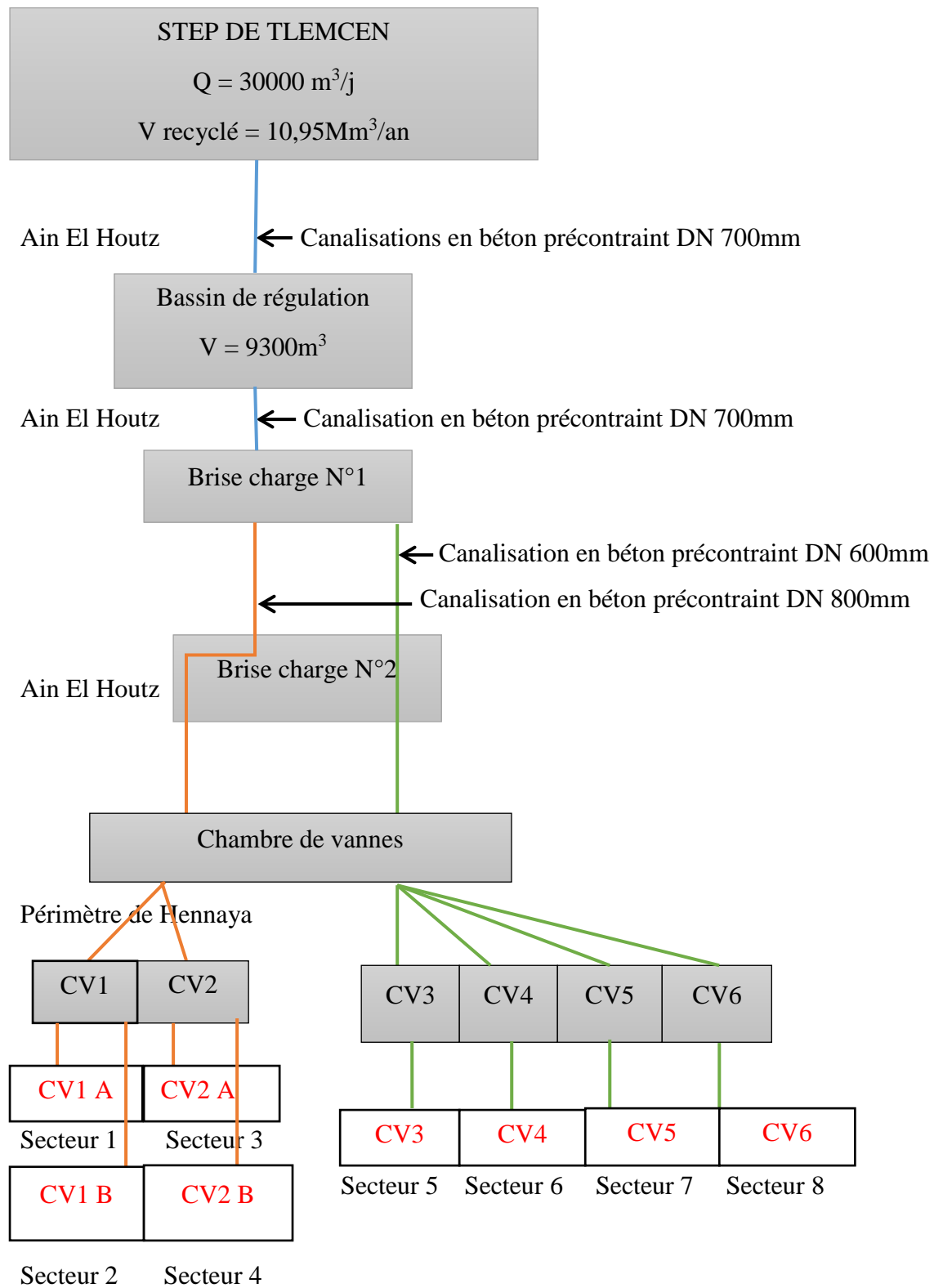
### III.2.8. Principe de fonctionnement

Une fois l'eau traitée après recyclage au niveau de la station d'épuration d'Ain El Houtz, elle sera stocké dans le bassin de régulation après avoir passé dans la chambre de vanne qui se trouve à côté de la station. L'entrée et la sortie de cette eau du bassin de régulation se fait au niveau de deux chambres de vanne qui se trouve à l'intérieur de ce dernier.

Dès que l'eau sera libérée, elle descend rapidement par gravité suivant la pente existante entre le bassin de régulation et l'entrée du périmètre, transporté par des canalisations en béton précontraint DN 700mm jusqu'aux réservoirs de régulation BC1 et BC2 afin de réduire la pression de cette eau causé par sa descente pour la libérée encore une fois dans deux conduites de diamètres différentes de DN 600mm et DN 800mm posées parallèlement. Chacun de ces réseaux alimente une partie du périmètre à partir des chambres de vannes (CV1, CV2, CV3, CV4, CV5, CV6) qui se trouve à l'intermédiaire du réseau principal et le réseau secondaire appelé encore réseau de distribution.

Le périmètre est réparti en 8 secteurs dont les 4 premiers sont desservis par la conduite de DN600 et les 4 autres par la conduite DN800 par alternance sur une période de 7/15 jours pour chaque secteur.

La distribution au sein des secteurs se fait par un réseau collectif sous pression composés de quatorze (14) conduites principales P1, P2 ....avec leurs ramifications pour faciliter la manœuvre et laisser la liberté à l'irrigant de mener son irrigation sans qu'il ne soit contraint à des horaires fixes. Chaque réseau de distribution contient un certain nombre de bornes et chaque borne contient un certain nombre de prises de 1 à 3 qui sont installées pour rejoindre une superficie voulu à irriguer.



### III.2.9. Classification des cultures irriguées par les eaux épurées

Dans le périmètre irrigué de Hennaya les cultures irriguées à partir des eaux épurées sont désignées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III-2** Classification des cultures du périmètre de Hennaya en 2018 [55]

Cultures	Agrumes	Arbres fruitiers divers	Oliviers	Céréales
Superficie (ha)	475	150	70	50

### III.2.10. Mode d'irrigation et prévention

Les modes d'irrigations pratiquées dans le périmètre sont l'aspersion, le goutte à goutte et l'irrigation par rigole.

La prévention des risques est liée principalement à l'usage des eaux épurées et l'interdiction de l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation des cultures maraichères dont les produits sont consommés crus. [55]

### III.2.11. Impact socio-économique du projet sur la région

La réalisation du périmètre contribuera au :

- ✓ Développement des périmètres de la région ;
- ✓ L'amélioration du niveau de vie des populations rurales ;
- ✓ L'accroissement du revenu régional et création d'activités connexes liées à l'existence des chantiers ;
- ✓ La création d'emplois lors de la réalisation du projet et après le projet.

# CHAPITRE IV : Matériels, méthodes d'analyses et interprétation des résultats

## **Chapitre IV : Matériels, méthodes d'analyse et interprétations des résultats**

### **Introduction**

L'appréciation de l'efficacité de l'épuration passe par l'analyse de certains paramètres spécifiques. Dans le cas de la STEP de Ain El Houtz, les paramètres analysés sont : la température, la turbidité, le Potentiel d'Hydrogène (pH), la conductivité électrique, les matières en suspension, le Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO), les nitrates, les nitrites, l'ammoniac et les ortho-phosphates. Ces paramètres sont analysés à l'entrée et à la sortie de la station.

### **IV.1 L'échantillonnage**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspensions, etc.). Dans le cadre de notre étude, des échantillons composites ont été effectués, destinés à l'analyse physico-chimique pour les eaux à l'entrée et la sortie de la STEP.

Les échantillons composites sont constitués d'un mélange d'échantillons prélevés chaque heure d'un volume de 200 ml par un agent préleveur envoyé le plus rapidement pour mesurer la Température et les conserver au réfrigérateur pour l'analyse des autres paramètres à la fin de journée.[59]

### **IV.2. Analyses physico-chimiques**

Différentes méthodes d'analyses ont permis de déterminer les divers paramètres physico-chimiques.

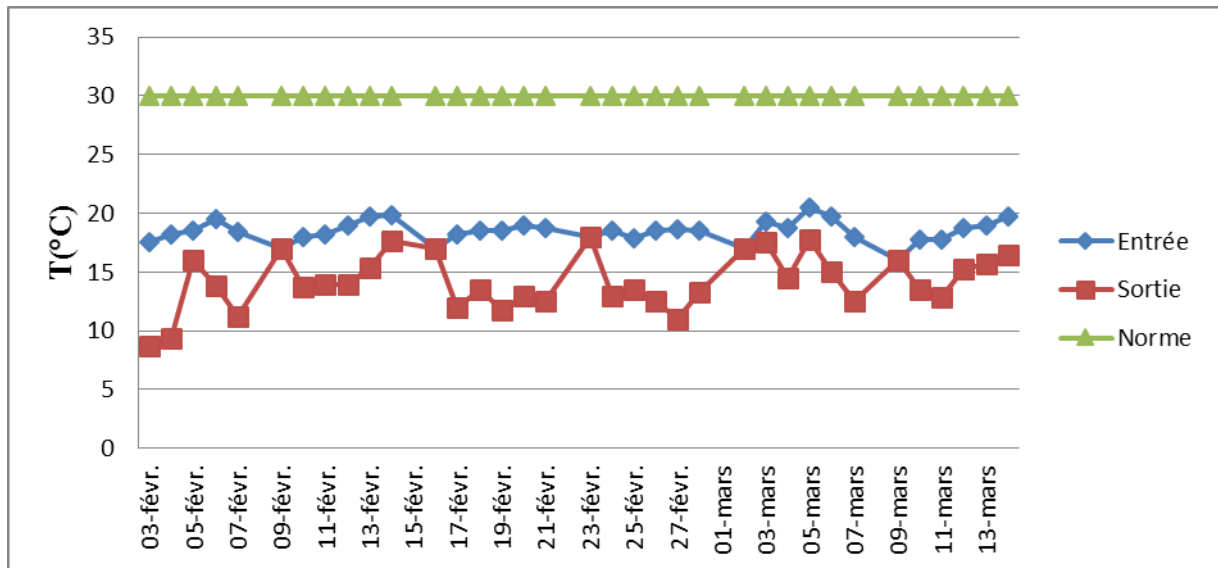
Au cours de notre stage nous n'avons pu avoir que six bulletins d'analyses physico-chimiques (correspondant à la durée de notre stage) car il est stipulé que les résultats des analyses non assistées ne peuvent pas être donnés aux stagiaires.

#### **IV.2.1. La température**

La détermination de la température de l'échantillon est faite à l'aide d'un thermomètre plongé à l'intérieur du flacon et on attend environ 3 minutes pour la lecture. [59]

La température est donnée en degré Celsius (°C).

Les variations de la température durant la période de février 2019 – mars 2019 sont représentées dans le graphe suivant (Fig.IV.1).



**Fig. IV-1** graphe de la variation de la température à l'entrée et à la sortie

La figure IV.1 montre que les valeurs de la température à l'entrée comme à la sortie sont en dessous de la norme ce qui signifie qu'elle est conforme à la limite fixée par la législation.

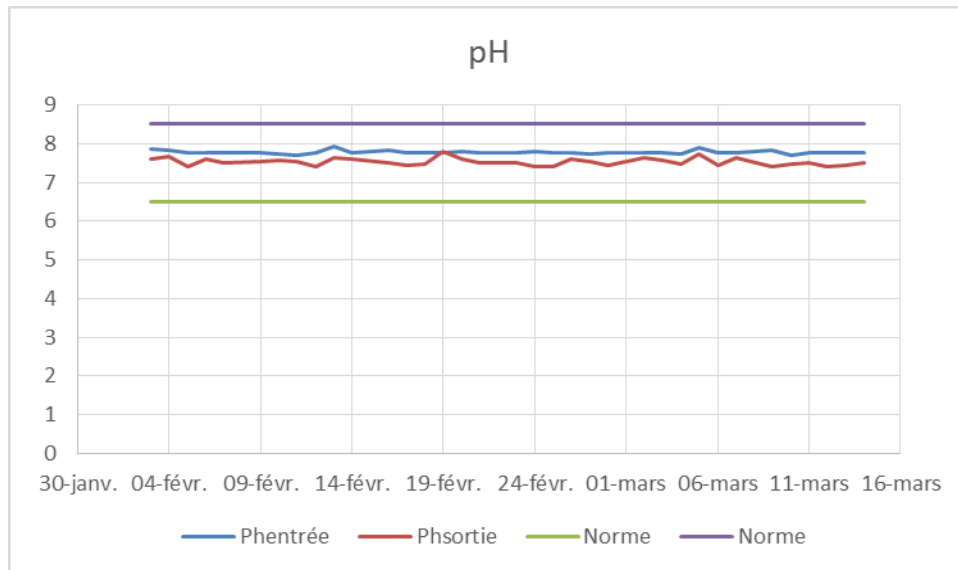
#### IV.2.2. Le pH

A l'aide d'un pH-mètre portatif (Fig. IV.2) on plonge la sonde dans les échantillons d'eau avant et après l'épuration. On le laisse se stabiliser ; on agite pour s'assurer de la fiabilité du résultat. [59] Celui-ci est affiché sur l'afficheur.



**Fig. IV-2** photo d'un pH-mètre portatif modèle pH 90 WTW [59].

Les variations du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP pendant la durée de notre stage (Février 2019 – mars 2019) sont représentés dans le graphe suivant (fig. IV-3) :



**Fig. IV-3** graphe de la variation du pH à l'entrée et à la sortie

Le pH à l'entrée varie entre 7.7 et 7.89 et il varie entre 7.41 et 7.81. Ces valeurs sont comprises entre les valeurs limites qui sont 6.5 et 8.5, ce qui permet un bon déroulement du processus épuratoire.

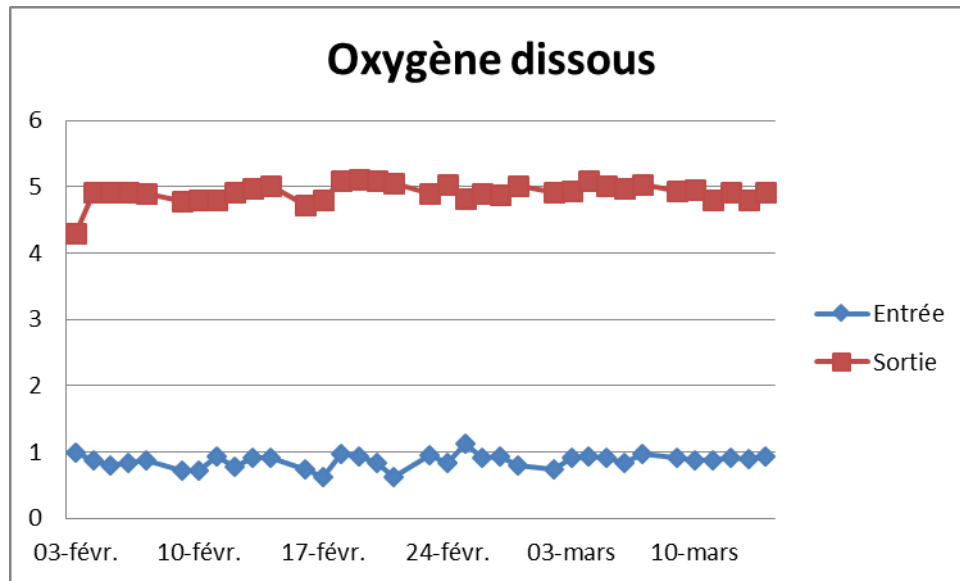
#### IV.2.3. L'oxygène dissous

La détermination de la valeur d'oxygène dissous est faite par un oxymètre portable. (Fig. IV-4) ; en laissant la sonde à l'air libre jusqu'à ce que l'afficheur indique 102 mg/l qui représentent la saturation de l'air en oxygène. On plonge en suite la sonde dans les échantillons, l'un après l'autre, tout en attendant le temps de la stabilisation puis on note le résultat. [59]



**Fig. IV-4** photo d'un oxymètre portable modèle OXI 92 WTW. [59]

Le graphe ci-dessous (fig. IV-5) représente les variations de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie.



**Fig. IV-5** graphe de la variation de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie

Sur la figure IV-5 on remarque que la variation de l'oxygène dissous à la sortie est largement au-dessus de celle à l'entrée, ceci peut s'expliquer par l'insufflation de l'oxygène par les aérateurs de surface de la STEP pendant le traitement biologique donc l'eau à la sortie est plus aérée et est moins chargée que celle à l'entrée.

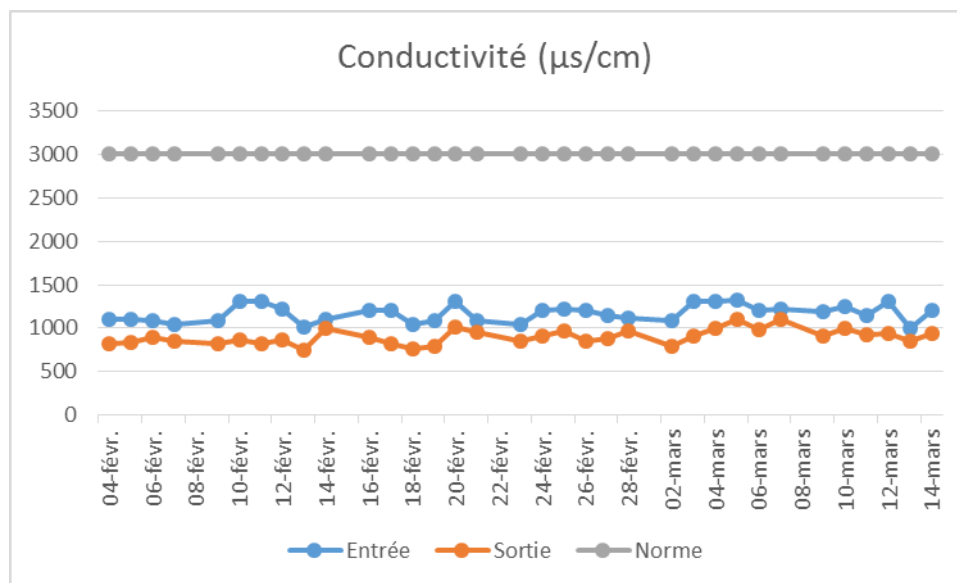
#### IV.3.4. Conductivité

On commence par régler le conductimètre (Fig. IV-6) et le mettre sur le mode « $\mu\text{s}/\text{cm}$  ». Puis on plonge la sonde dans les échantillons d'eau, usée puis épurée, et on lit le résultat en micro- siemens par centimètres. [59]



**Fig. IV-6** photo d'un conductimètre portatif modèle LF 90 WTW [59].

Le graphe ci-dessous (fig. IV.7) représente les variations de la conductivité électrique à l'entrée et à la sortie.



**Fig. IV-7** graphe de la variation de la conductivité à l'entrée et à la sortie

La variation de la conductivité à l'entrée est située entre 1005  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et 1324  $\mu\text{s}/\text{cm}$  tandis qu'à la sortie, elle est de 742  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et 1106  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . On remarque une légère baisse de la valeur initiale, mais néanmoins, ces valeurs sont largement en dessous de la valeur limite qui est de 3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Pour les paramètres suivants on utilise un spectrophotomètre DR/2000 (Figure IV-8).



Fig. IV-8 photo d'un spectrophotomètre DR/2000 [59].

#### IV.3.5. Les matières en suspension

On introduit le numéro de programme mémorisé pour les matières en suspension 630, et on presse sur READ/ENTER. Et on règle la longueur d'onde à 810 nm. Et on presse pour la deuxième fois READ/ENTER. L'afficheur indique : mg/l MAT.EN.SUSP, On prépare le blanc (Verser 25ml d'eau distillée dans une cuvette de mesure), et l'échantillon (25ml d'eau épurée et entrer dans 2 cuvettes de mesure) Puis on place le blanc dans le puits de mesure, et on ferme le capot. On pressant sur ZERO. L'afficheur indique : 0 mg/l MAT.EN.SUSP, On place le premier échantillon d'eau épurée dans le puits de mesure et on ferme le capot. Presser : READ/ENTER. Et le résultat de matières en suspension en mg/l s'affiche. On refait la même chose avec l'échantillon d'eau usée. [59]

Les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant (fig. IV-9).

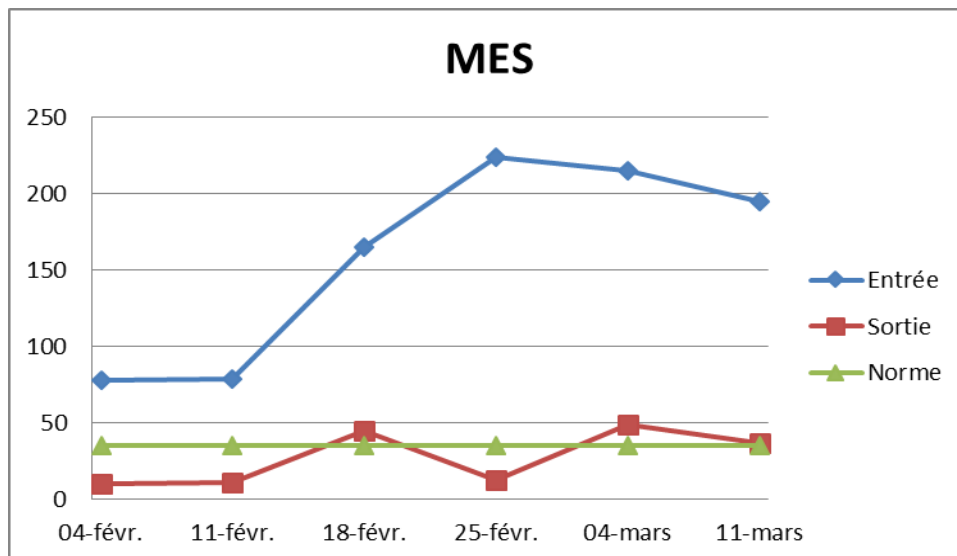
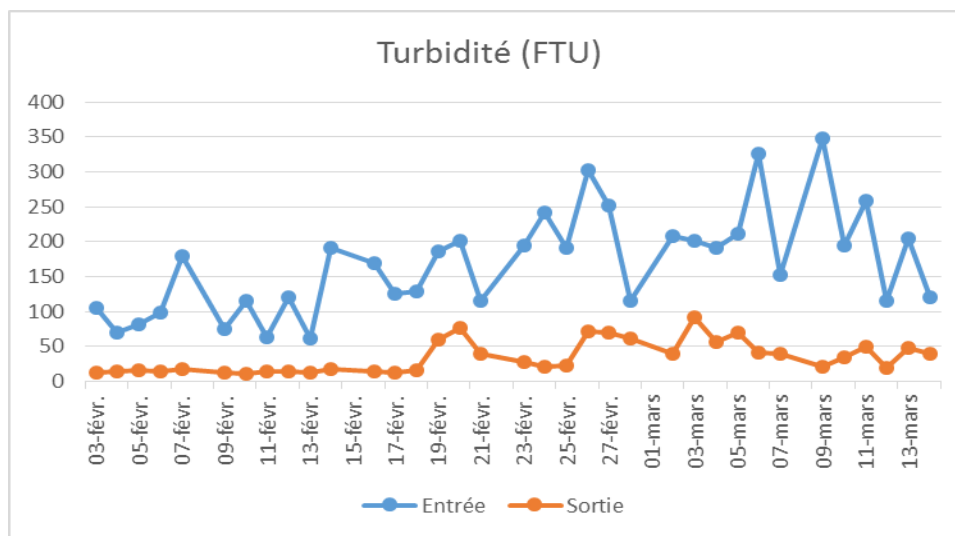


Fig. IV-9 graphe de la variation de MES à l'entrée et à la sortie

La figure IV-9 montre qu'après traitement on remarque une large diminution de MES à la sortie comparé aux MES à l'entrée dont la plupart des valeurs sont en dessous de la norme. Néanmoins on remarque un dépassement le 18 février, le 04 mars et le 11 mars ce qui peut être dû soit à un problème de mélange de la liqueur mixte qui impacte sur la dégradation de la matière organique ou à une mauvaise oxygénation du milieu pendant le traitement biologique.

#### IV.3.6. La turbidité

Pour la turbidité on procède aux mêmes étapes que précédemment. C'est seulement le code de réglage qui change le numéro de programme 750 et la longueur d'onde à 450 nm et on lit directement le résultat affiché en FTU (Formazing Turbidity Unit). [59]



**Fig. IV-10** graphe de la variation de la turbidité à l'entrée et à la sortie

On remarque une grande diminution de la turbidité à la sortie. Cette dernière est d'ailleurs visible à l'œil nu car l'eau est beaucoup plus claire à la sortie. Ceci témoigne de la qualité de l'épuration.

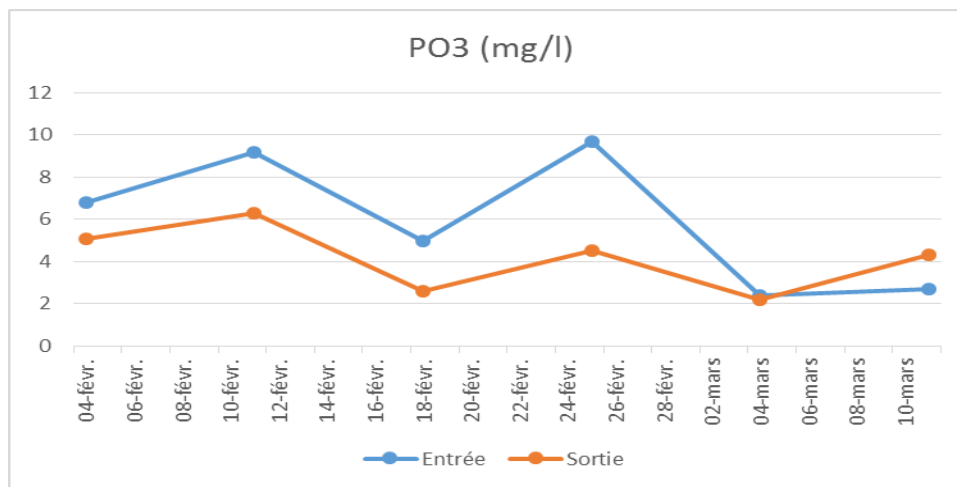
#### IV.3.6. Phosphates, Ortho (0 à 2.5mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

On introduit le numéro de programme mémorisé pour les phosphates 490, .Et en règle la longueur d'onde à 890 nm. L'afficheur indique : mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> PV, On prépare le blanc (25 ml d'eau distillée) On prépare aussi 25 ml d'eau à analyser (usée, épurée) ; On rajoute le réactif : Pyrosulfate de potassium, molybdate de sodium, acide ascorbique. Dans la méthode molybdovanadate, l'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate. En présence de vanadium, l'acide vanadomolybdophosphorique jaune se forme. L'intensité de la coloration jaune est proportionnelle à la concentration du phosphate. On attend 2 minutes pour le temps de réaction Puis on place le blanc dans le puits de mesure, et on ferme le capot. On pressant

sur ZERO. L'afficheur indique : 0 mg/l, On place le premier échantillon d'eau épurer (sortie) préparé dans le puits de mesure .et on ferme le capot. Presser : READ/ENTER. Et le résultat de phosphates en mg/l s'affiche. Et la même chose avec l'échantillon d'eau usée (entrée). [59]

**Note :** table de conversion de Phosphore :

- $\text{mg/l PO}_4^{3-} = \text{mg/l P} \times 3.07$
- $\text{mg/l P}_2\text{O}_5 = \text{mg/l P} \times 2.25$
- $\text{mg/l P}_2\text{O}_5 = \text{mg/l PO}_4^{3-} \times 0.75$



**Fig. IV-11** graphe de la variation des ortho-phosphates à l'entrée et à la sortie

On remarque sur la fig. IV-11 que la variation de phosphates diminue après traitement, ce paramètre n'est pas fixé par une valeur limite par la législation mais son suivi est important pour une éventuelle réutilisation.

#### IV.3.7. L'ammoniac, nitrates et nitrites

Pour ces trois paramètres, on procède à une dilution des échantillons afin de trouver un résultat se trouvant dans la plage de mesure.

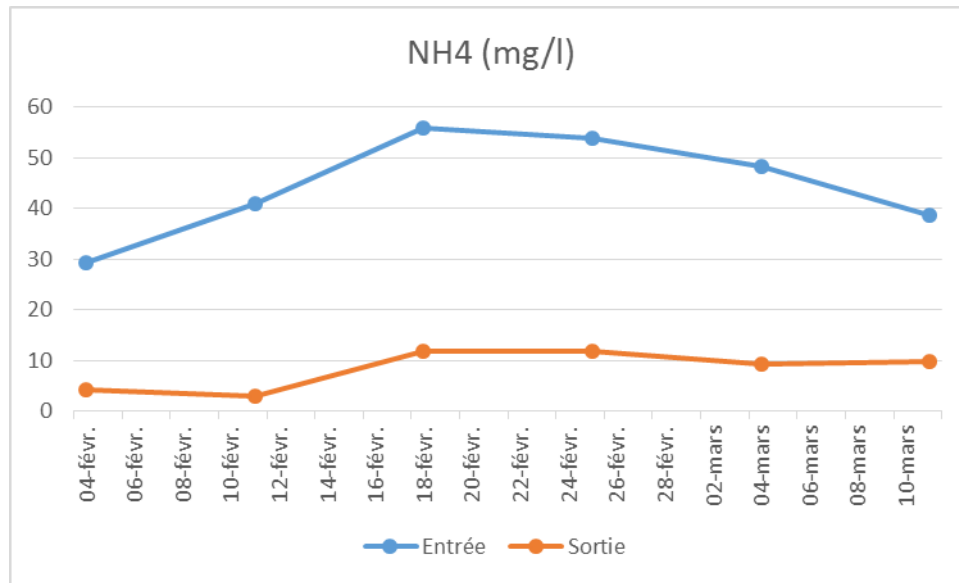
**Pour l'ammoniac :** le numéro de programme est 380, sa longueur d'onde est 425 nm. L'afficheur indique : mg/l N-NH<sub>3</sub> Ness.

Le blanc est composé de 25 ml d'eau distillée et exceptionnellement pour le dosage de l'ammonium on ajoute au blanc trois gouttes du réactif PVA plus trois gouttes du stabilisateur et 1 ml de réactif de Nessler.

On ajoute les mêmes réactifs pour l'échantillon d'entrée et de la sortie ; puis on laisse les trois échantillons (blanc, entré et sortie) un moment de réaction (1 minute).

Lorsque le minuteur sonne l'affichage indique : mg/l N-NH<sub>3</sub> et on lit les résultats. [59]

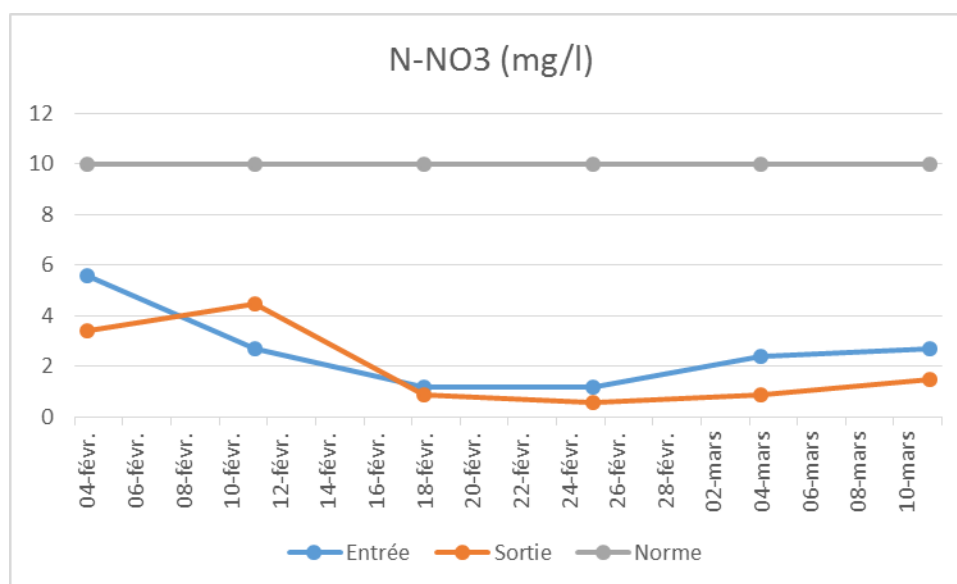
**Note :** On multiplie ces résultats par le facteur de dilution. Les résultats peuvent être exprimés en mg/l d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en multipliant le résultat par le coefficient 1,29.



**Fig. IV-12** graphe de la variation des NH<sub>4</sub><sup>+</sup> à l'entrée et à la sortie

La quantité d'ammonium dans les eaux usées qui était initialement comprise entre 29.2 mg/l et 53.85 mg/l a considérablement diminué dans les eaux épurées et est passée entre 2.9 mg/l et 11.93 mg/l, et cela, grâce au traitement biologique.

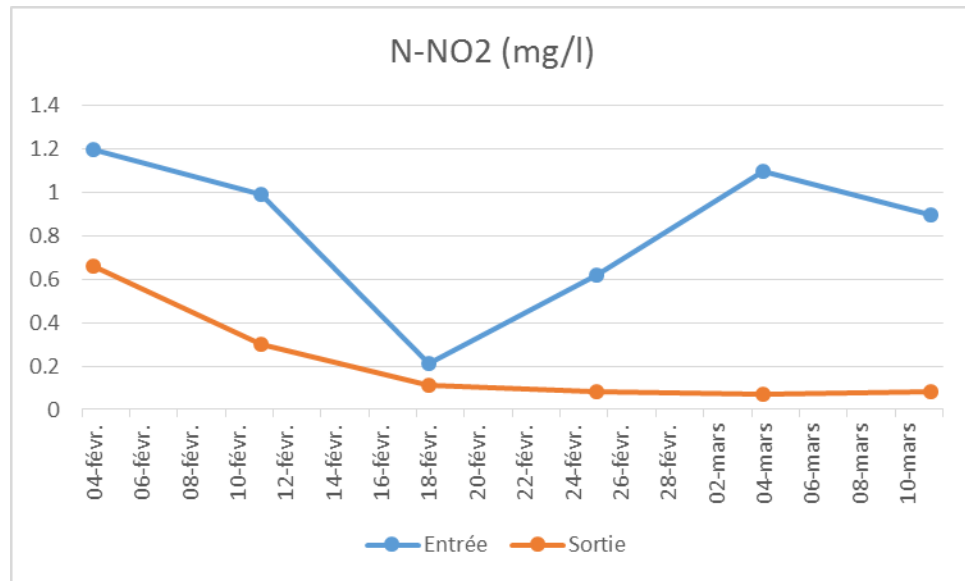
**Pour les nitrates:** le numéro de programme 355 et la longueur d'onde 500 nm; On prépare le blanc (25 ml d'eau distillée) ; On prépare aussi 25 ml d'eau à analyser (usée, épurée) ; On rajoute le réactif en sachet : Pyrosulfate de potassium, Ethylènediammonium sulfate ferreux. On attend 1 minute pour le temps d'agitation et 5 minutes pour la réaction. On met le blanc dans l'appareil (le puits) pour l'étalonner à zéro ; on met l'échantillon à analyser. Le résultat est directement affiché et pour avoir les nitrites on multiplie par la constante 4,4. [55]



**Fig. IV-13** graphe de la variation des nitrates à l'entrée et à la sortie

D'après la figure IV-13, la variation des nitrates à l'entrée comme à la sortie est en dessous de la norme pour la réutilisation. Le 10 février on remarque un dépassement de la valeur des nitrates à la sortie à celle à l'entrée mais elle se situe en dessous de la norme donc elle respecte la valeur limite pour la réutilisation.

**Pour les nitrites :** le numéro de programme 373 et la longueur d'onde 585 nm ; On prépare le blanc (25 ml d'eau distillée) ; On prépare aussi 25 ml d'eau à analyser (usée, épurée); On rajoute le réactif en sachet : cadmium, acide sulfaminique. En effet le nitrite dans l'échantillon réagit avec l'acide sulfurique pour former un sel diazomique qui réagit avec l'acide chromatropique pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité de nitrite présente. On attend 15 minutes pour le temps de réaction. On met le blanc dans l'appareil (le puits) pour l'étalonner à zéro puis on met l'échantillon à analyser. Le résultat est directement affiché et pour avoir les nitrates on multiplie celui-ci par le coefficient 3.



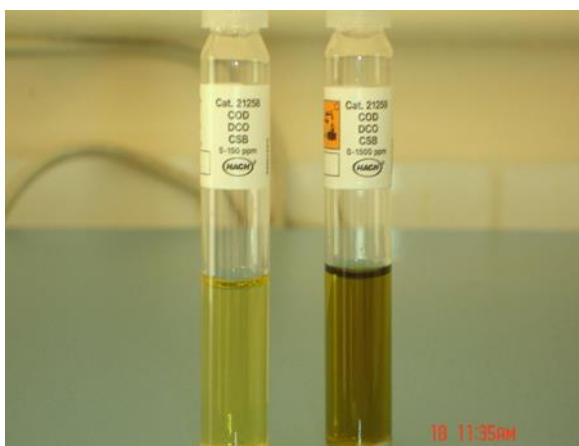
**Fig. IV-14** graphe de la variation des nitrites à l'entrée et à la sortie

On remarque une forte diminution du nitrate dans les eaux épurées. Cela n'a pas un grand impact sur la qualité des eaux usées car la présence de nitrites indique une phase transitoire dans le processus de nitrification.

#### IV.3.8. La D.C.O

On prépare le blanc pour les deux échantillons (blanc pour chaque gamme), celle-ci se fait dans les tubes contenant le réactif. Puis on met 2 ml d'eau distillée avec le contenu d'un tube du réactif de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) et on chauffe le tout pendant 2 heures à  $150^\circ C$ .

On prépare ensuite les deux échantillons cités ci-dessus : On prélève 2 ml d'eau usée et on rajoute le réactif pour la D.C.O, (Photo 5) (gamme d'entrée 0-1500 ppm) ; On prélève 2 ml d'eau épurée et on rajoute le réactif pour la D.C.O. (gamme de sortie 0-500 ppm). [59]



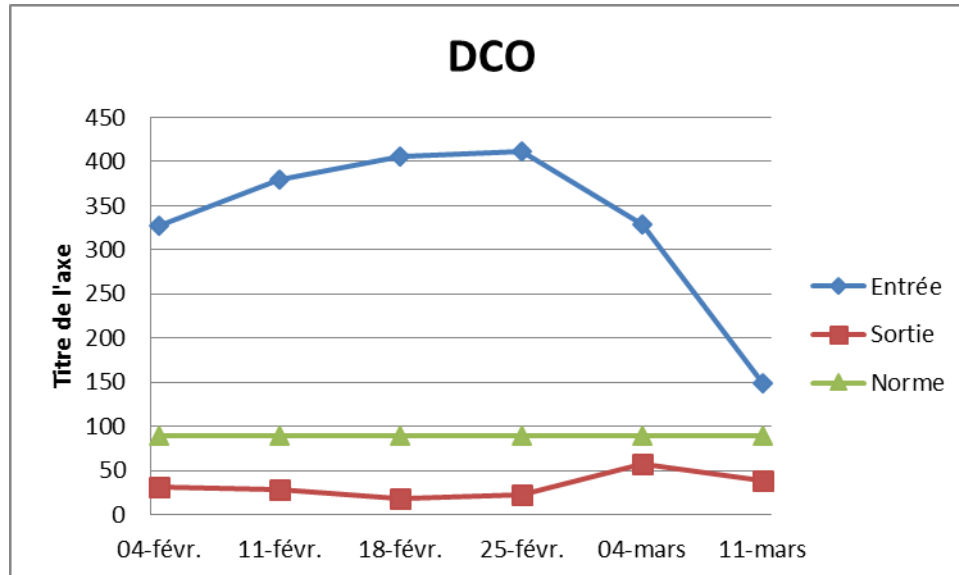
**Fig. IV-15** photo de réactif à D.C.O.[59]



**Fig. IV-16** réacteur à D.C.O et plaque chauffante

Le réacteur à D.C.O joue le rôle de catalyseur. On refroidit pendant 20 minutes. On règle le numéro du programme 435 et la longueur d'onde 620 nm

On met le blanc dans le spectrophotomètre pour l'étalonner à zéro puis les échantillons à analyser. Le résultat est directement affiché.



**Fig. IV-17** Variation de la DCO à l'entrée et à la sortie

On remarque d'après la figure IV-17 que la variation de la DCO à l'entrée diminue considérablement à la sortie passant de 412 mg/l à 149 mg/l à l'entrée à 22 mg/l à 18 mg/l à la sortie. Ceci montre l'efficacité du traitement pour ce paramètre et d'une bonne dégradation de la matière chimiquement oxydable, elle se situe également en dessous de la norme.

#### IV.4. Analyse biologique

Le seul paramètre biologique analysé au niveau du laboratoire de la STEP est la DBO<sub>5</sub>. Quant aux autres paramètres biologiques, leurs analyses se font chez un prestataire privé, à la demande de la STEP.

La DBO<sub>5</sub> est la demande biochimique en oxygène. Elle exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. [59]

##### IV.4.1. Analyse de la DBO<sub>5</sub>

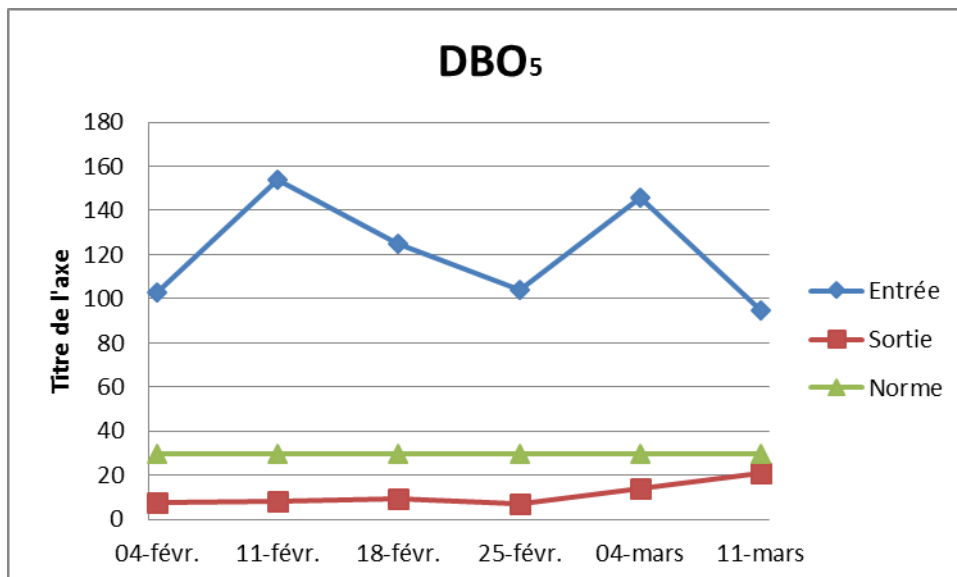
On remplit les flacons avec les échantillons d'eau (usée et épurée) et on met un barreau magnétique dans chacun des flacons pour homogénéisation. On rajoute un absorbant dans

les bouchons hermétiques pour absorber l'humidité et les gaz, le plus utilisé est l'hydroxyde de lithium (Figure IV-18).

Les échantillons sont placés dans une chambre thermostatée et sombre durant leur mesure de DBO<sub>5</sub> (Figure IV-19) On règle l'appareil à zéro et on met l'incubateur en marche pendant 5 jours à 20 °C. Le résultat est obtenu directement sur l'afficheur. [59]



**Fig. IV-18** photo d'un flacon à D.B.O. [59]      **Fig. IV-19** photo d'un D.B.O mètre. [59]



**Fig. IV-20** graphe de la variation de la DBO<sub>5</sub> à l'entrée et à la sortie

La DBO<sub>5</sub> indique la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de la matière organique biodégradable par des processus biochimiques ; Les concentrations de la DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la station varient entre 95 mg d'O<sub>2</sub>/l et 154 mg d'O<sub>2</sub>/l. Ces valeurs diminuent

pour atteindre des valeurs entre 7 mg O<sub>2</sub>/l et 21 mg O<sub>2</sub>/l, ce qui implique un rendement épuratoire moyen de 93 % et largement en dessous de la norme de rejet qui est de 30 mg O<sub>2</sub>/l.

#### **IV.5. Analyse des boues**

Les paramètres qui sont pris en compte pour l'analyse des boues sont la siccité et l'indice de boue.

##### **IV.5.1. La siccité**

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Elle est évaluée par la quantité de solide restant après un chauffage à 105°C pendant deux heures. Elle s'exprime généralement en pourcentage. À l'inverse, on parlera de taux d'humidité. [59]

- Peser le creusé vide sécher soit P<sub>0</sub> ;
- Prendre une quantité de la boue d'un lit de séchage ;
- Peser ensemble le pèse-tare et la boue soit P<sub>1</sub> ;
- Mettre le creusé à l'incubateur à 105°C pendant 2 heures (jusqu'à le poids se stabilise) soit P<sub>2</sub>.

Le calcul de la siccité se fait par la formule suivante :

$$Sc = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100 \quad (15)$$

P<sub>0</sub>: creusé vide.

P<sub>1</sub>: creusé avec l'échantillon.

P<sub>2</sub>: creusé après séchage.

##### **IV.5.2. Indice de boue**

L'indice de boue est utilisé pour apprécier l'aptitude d'une boue à la décantation.

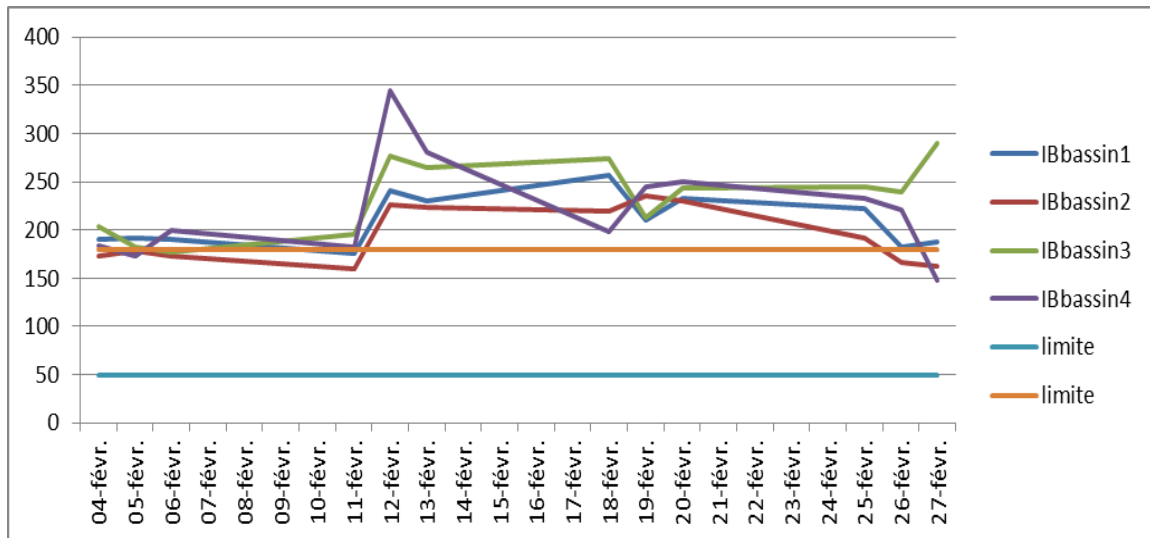
$$IB = \frac{V_{30}}{MES} \quad (16)$$

IB : indice de boue (ml/g)

V<sub>30</sub> : volume décanté durant 30 minutes en (ml/l).

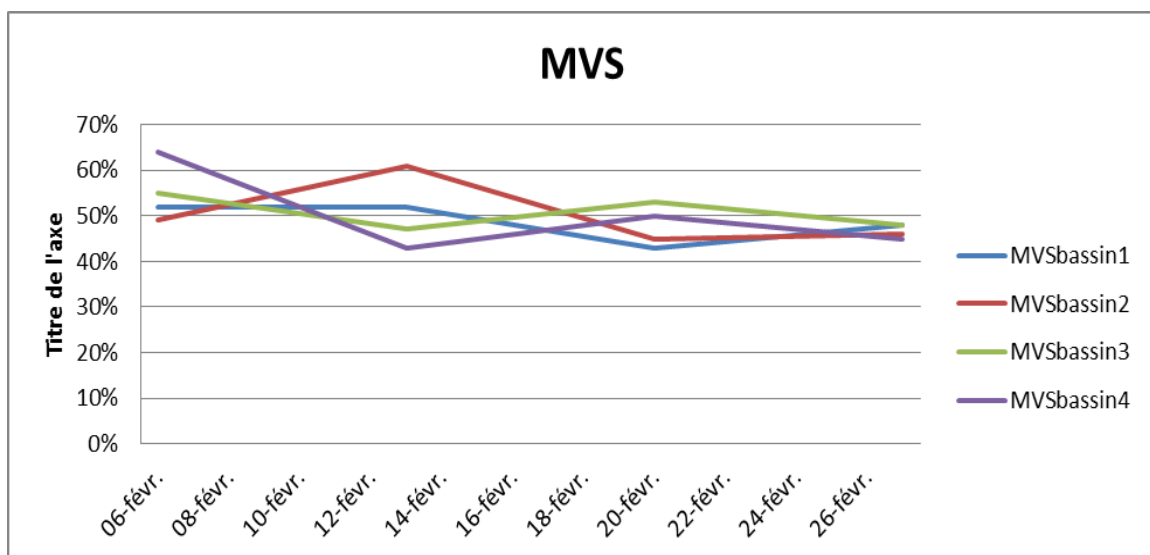
MES : concentration de la matière en suspension (g/l).

Les variations de l'indice de boues sont reportées dans la figure suivante



**Fig. IV-21** graphe de la variation l'indice de boue dans les bassins

La valeur de l'indice de boues pour une bonne décantation se situe entre 50 mg/l et 180 mg/l [2] avec une valeur idéale de 100mg/l, mais pour les bassins de la STEP on remarque que ces valeurs sont dépassées pour la plupart d'après la (fig. IV-21). Ceci peut être expliqué par le fait qu'il y a un excès de boues dans la station donc les boues passe un long temps séjour dans les bassins et ou par la présence de bactéries filamenteuses qui provoque le phénomène de foisonnement.



**Fig. IV-22** graphe de la variation des matières volatiles sèches des bassins

La variation de MVS des quatre bassins de la STEP montre que la boue a une texture plus organique que minéral avec un pourcentage maximum de 66% de matières organiques.

## IV.6. Quelques défaillances de fonctionnement de la STEP

Au cours de notre stage pratique à la STEP de Ain El Houtz, nous avons observé plusieurs problèmes liés au fonctionnement de la STEP. Ces problèmes ont un impact sur la qualité des eaux épurées, la boue produite et les conditions de travail des agents.

Il s'agit de :

- La remontée des boues dans le clarificateur : on observe des boues noirâtres et malodorantes appelées boues mortes à la surface du clarificateur, la flottation de ces boues est la résultante d'une activité de fermentation anaérobie au sein de la boue. Cette fermentation est due au fait que les boues restent trop longtemps dans le fond du bassin.



**Fig. IV-23** remontée des boues mortes à la surface du clarificateur

- Concentration des boues dans les bassins d'aération : Comme nous le montre la **fig. IV-21**, la concentration des boues dans les bassins d'aération est supérieure aux normes. Cet excès de boue une augmentation du fonctionnement des aérateurs, d'où une surconsommation d'énergie électrique (respiration des bactéries) et des risques de pertes de boue en sortie (réduction de la capacité hydraulique du clarificateur).

- Absence de débitmètre à l'entrée de la STEP, ce qui entraîne une incertitude dans l'estimation du débit des eaux usées entrant dans la STEP.
- Un manque d'étalonnage du débitmètre à la sortie, ce dernier, n'ayant été étalonné que depuis 2005. Cela pourrait engendrer des erreurs dans l'estimation du débit sortant de la STEP.
- Absence de vanne d'entrée à l'amont du déversoir d'orage pour permettre le nettoyage du déversoir d'orage et arrêter l'arrivée des eaux au cas où les eaux seraient visiblement non conformes (eaux anormalement colorées ou présentant des odeurs anormales).
- Les mélangeurs du fond des (04) bassins d'aération, pour l'homogénéisation de la liqueur mixte, sont tous en panne. Le problème réside dans la tige qui relie le moteur et les hélices qui se détache à chaque fois à cause du blocage de ces derniers et qui est causés par l'accumulation des cheveux et des fils sur l'hélice et la tige.
- Absence de déshydratation mécanique, ce qui entraîne une longueur de la durée de séchage des boues (cette durée pourrait atteindre 20 jours en période humide)
- Insuffisance du nombre de lits de séchages. Lors de l'étude du périmètre, il était prévu 28 lits de séchage mais 14 seulement ont été réalisés. Ce nombre est insuffisant pour la capacité de la STEP, ce qui a un impact direct sur la quantité de boues dans les ouvrages (excès de boue)
- Les lits de séchage sont endommagés surtout la couche de drain (gravier et sable). Il y'a des affaissements qui rendent la couche de boues non homogène (fig. IV-24), donc une durée de séchage non homogène (des points qui sèchent que d'autres)



**Fig. IV-24** photo d'un lit de séchage endommagé

- Le tractopelle (fig. IV-25) pour vider les lits de séchage est souvent en panne. Lorsqu'elle est en panne, la vidange des lits de séchage doit être assurée par des agents, ce qui augmente considérablement le temps de vidange (les agents passent presque deux jours pour vider un seul lit).



**Fig. IV-25 :** photo de la tractopelle en panne

- Le système de vidange des lits de séchage n'est pas sécurisé (voir figure III-26).



**Fig. IV-26 :** Système de vidange des lits de séchage

## **Conclusion**

Malgré les problèmes liés au fonctionnement de la STEP, la qualité des eaux usées épurées sortant de la STEP est bonne pour l'irrigation de cultures telles que les arbres fruitiers, les cultures et arbustes fourragers, les cultures céréalières, les cultures industrielles, les arbres forestiers, les plantes florales et ornementales avec des précautions d'utilisation telles que l'arrêt de l'irrigation deux semaines avant la cueillette et l'interdiction de ramassage de fruits tombés sur le sol. Le pâturage direct est aussi interdit.

Dans le chapitre suivant, nous verrons l'impact de l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation au niveau du périmètre.

# CHAPITRE V : Impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur la production au niveau du périmètre

## Chapitre V : Impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur la production au niveau du périmètre

### Introduction

Avant la création du périmètre irrigué, les principales cultures pratiquées étaient les céréales, les légumes secs et les cultures fourragères. L'agriculture était essentiellement pluviale mais il existait aussi des plantations irriguées telles que les arbres fruitiers, les agrumes et les cultures maraichères. Cette irrigation se faisait à partir des puits, des forages et des eaux de l'oued Sekkak.

C'est ainsi qu'en 2012, il y eut la création du périmètre irrigué. Vu qu'il existait déjà des vergers, il s'agissait donc de la valorisation de ces derniers, de leurs réhabilitations et la création de nouveaux vergers et la mise en place d'un réseau d'irrigation. Ce périmètre aura pour principale source d'irrigation, les eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz.

Dans ce chapitre, nous allons voir l'évolution de la production depuis la création de ce périmètre et l'impact économique de ce projet ainsi que les prévisions des besoins en eau pour couvrir toute la superficie du périmètre.

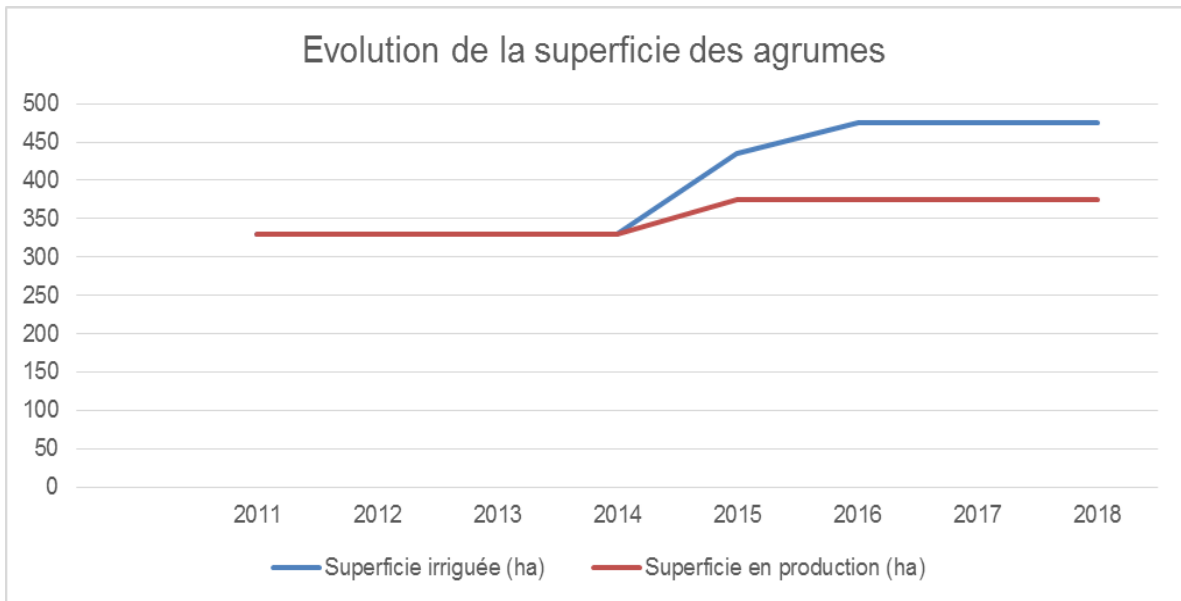
### V.I Evolution des superficies irriguées

L'irrigation du périmètre à partir de l'eau épurée de la STEP a commencé en 2012. C'est ainsi que de cette année à 2018, le périmètre a connu une augmentation de sa superficie, notamment les superficies irriguées. Le tableau suivant (Tableau. V-1) nous donne les valeurs de cette évolution en fonction des cultures.

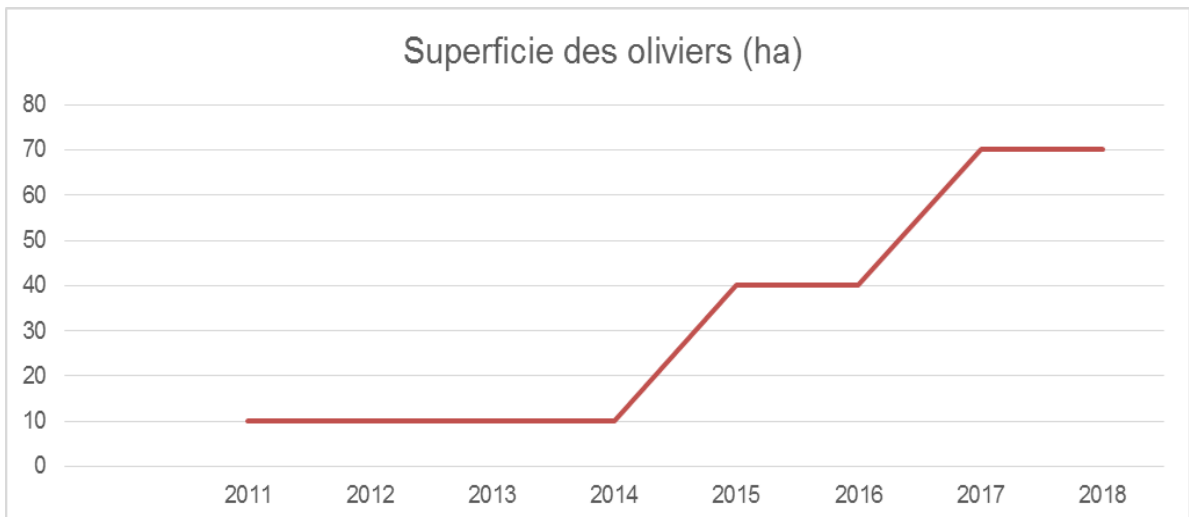
**Tableau V-1** Evolution des superficies irriguées en fonction des cultures [65]

Année	Superficie irriguée (ha)				Superficie totale
	Agrumes	Oliviers	Arbres fruitiers divers	Céréales	
2011	330	10	15	5	360
2012	330	10	15	5	360
2013	330	10	20	5	365
2014	330	10	70	5	415
2015	435	40	150	40	665
2016	475	40	150	50	715
2017	475	70	150	50	745
2018	475	70	150	50	745

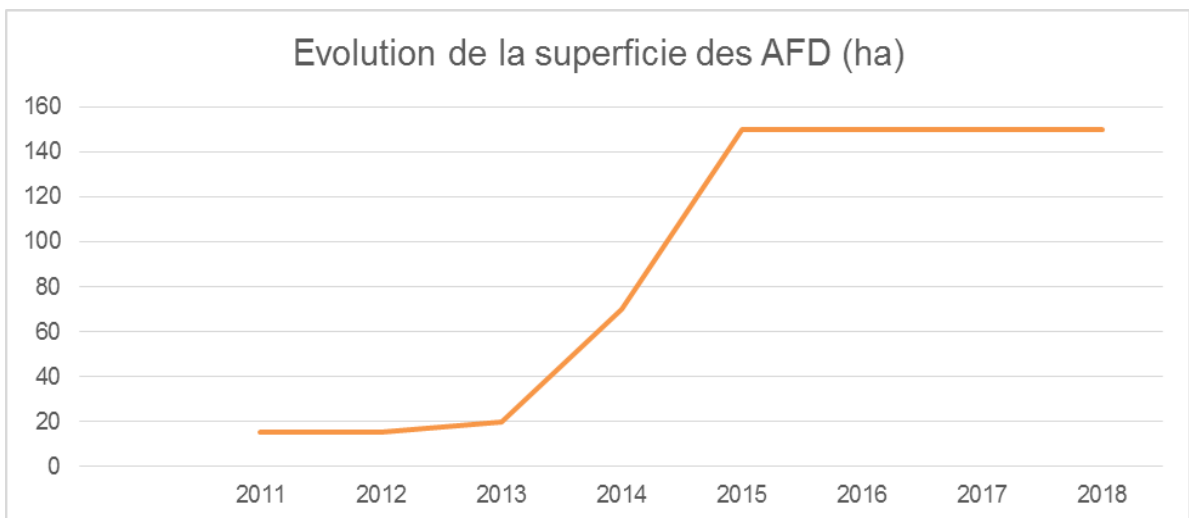
Ce tableau nous donne pour chaque culture, les graphes suivants (fig. V-1, fig. V-2, fig. V-3, fig. V-4)



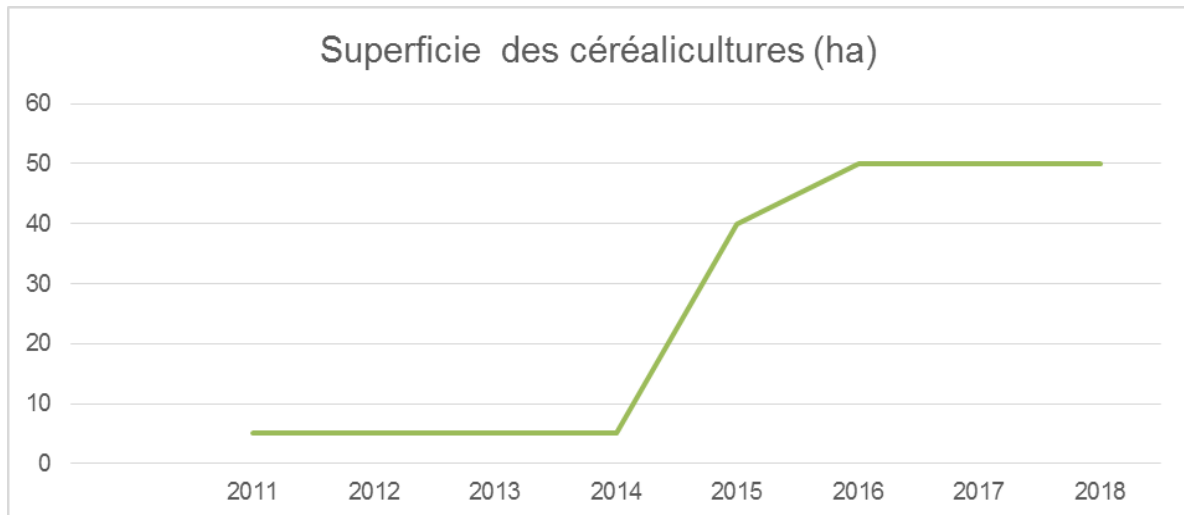
**Fig. IV-1** superficie des agrumes



**Fig. V-2** Evolution des superficies des oliviers



**Fig. V-3** Evolution des superficies des arbres fruitiers divers



**Fig. V-4** Evolution des superficies des céréalicultures

### Interprétation

De 2011 à 2014, on remarque une constance dans l'évolution des superficies des cultures au niveau du périmètre. Cette constance s'explique par le fait que les vergers étaient en phase de réhabilitation et le nouveau réseau d'irrigation était en phase d'essai. Les parcelles du périmètre irrigué, étant des propriétés privées, la plupart des agriculteurs étaient réticents quant à l'utilisation des eaux épurées pour l'irrigation. Il fallait donc effectuer une sensibilisation des agriculteurs afin de les convaincre que cette eau est sans danger pour leurs plantations. Il fallait aussi leur garantir que cette source d'eau serait permanente et donc les inciter à investir pour acquérir plus de vergers.

C'est ainsi qu'à partir de 2014, on assiste à une croissance des superficies des cultures notamment pour les céréales où la superficie est multipliée par 8. Au niveau des agrumes, on assiste à une plantation de jeunes agrumes. La superficie en production était donc légèrement inférieure à la superficie irriguée. Puis on assiste à une stabilité des superficies au niveau de toutes les cultures de 2016 à 2018 qui est due au fait que l'eau épurée provenant de la STEP ne pouvait plus couvrir plus de superficie et par le mode d'irrigation dont le mode gravitaire est majoritaire les parcelles, ce qui engendre une grande perte d'eau.

De 330 ha en 2012, la superficie irriguée atteint 745 ha en 2018, ce qui correspond à une couverture de 81.68% par rapport à la superficie totale du périmètre (912 ha).

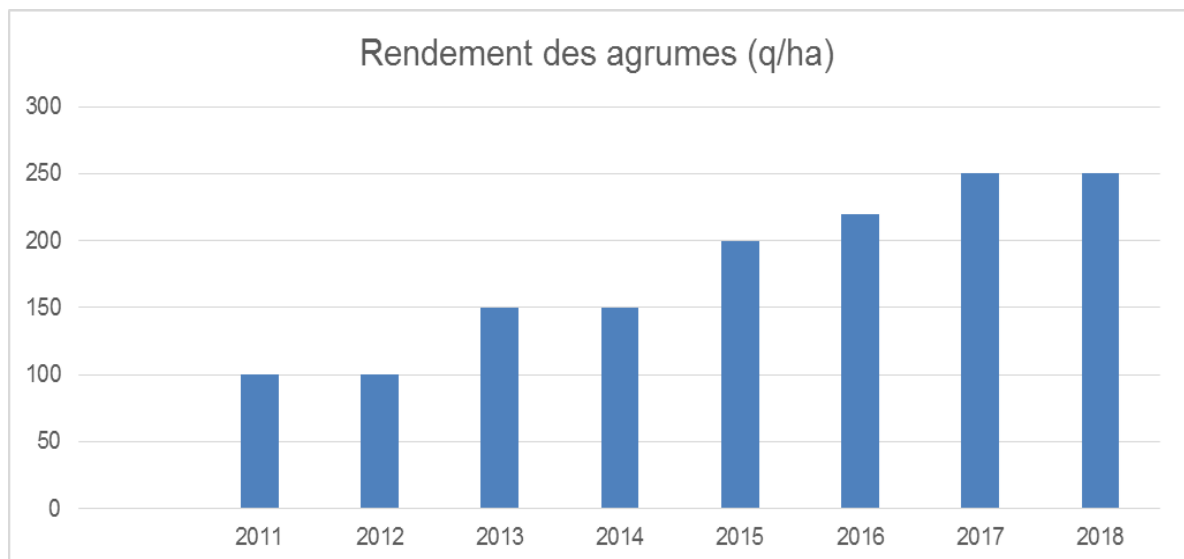
## V.2 Evolution du rendement des productions

Avec l'augmentation de la quantité d'eau disponible et la qualité de cette eau (qui est chargée et donc propice à l'irrigation), on assiste à une augmentation du rendement des productions (tableau V-2).

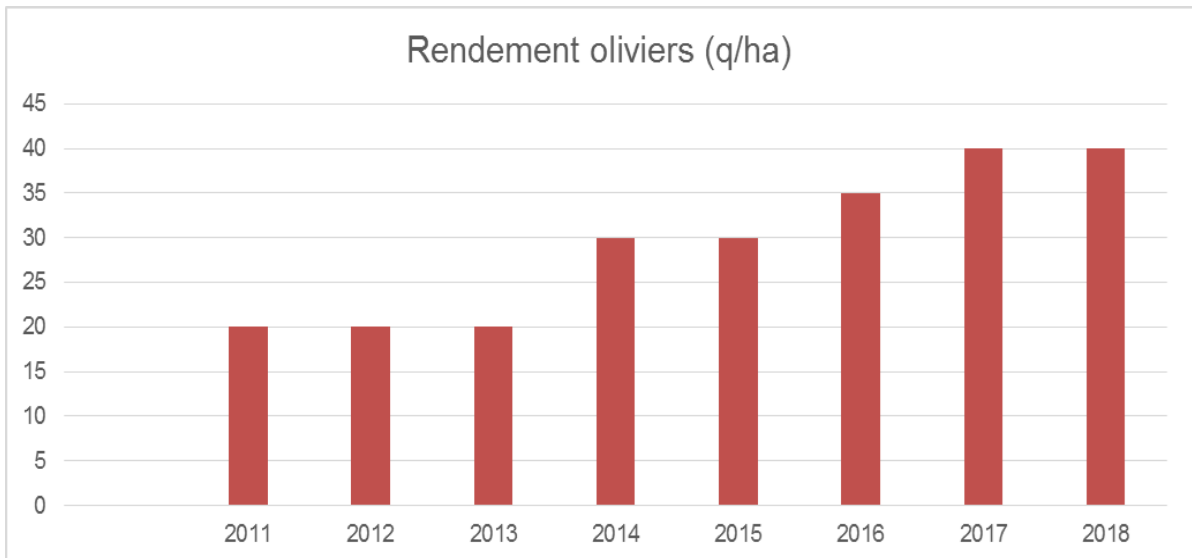
**Tableau IV-2** Tableau de l'évolution du rendement des productions [65]

Année	Rendement (q/ha)			
	Agrumes	Oliviers	Arbres fruitiers divers	Céréales
2011	100	20	50	20
2012	100	20	50	20
2013	150	20	70	20
2014	150	30	70	20
2015	200	30	70	30
2016	220	35	70	30
2017	250	40	70	30
2018	250	40	70	30

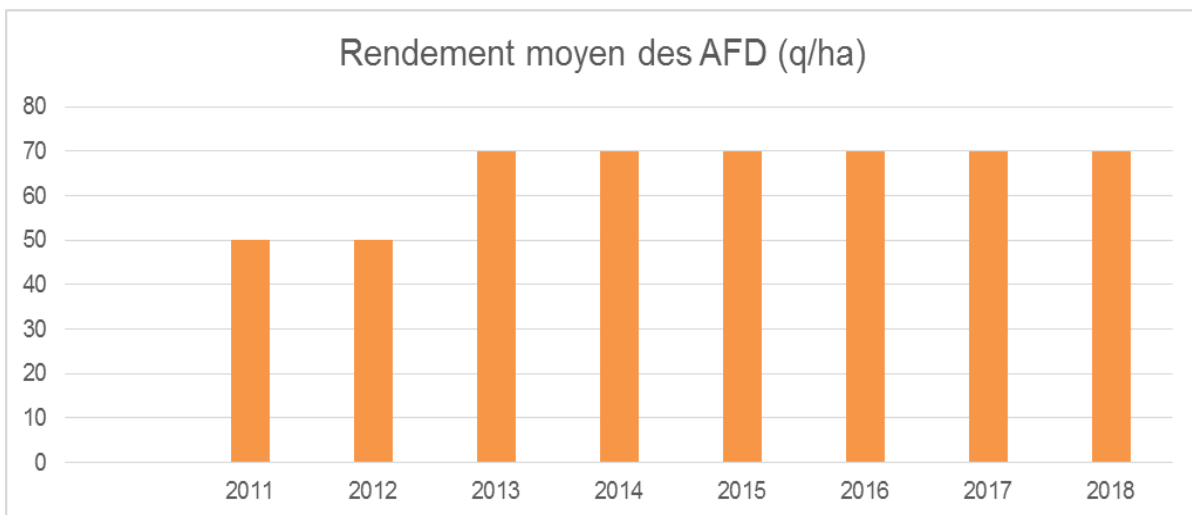
Ce tableau nous donne les évolutions des rendements de chaque culture dans les graphes suivants (Fig. V-5, fig. V-6, fig. V-7, fig. V-8)



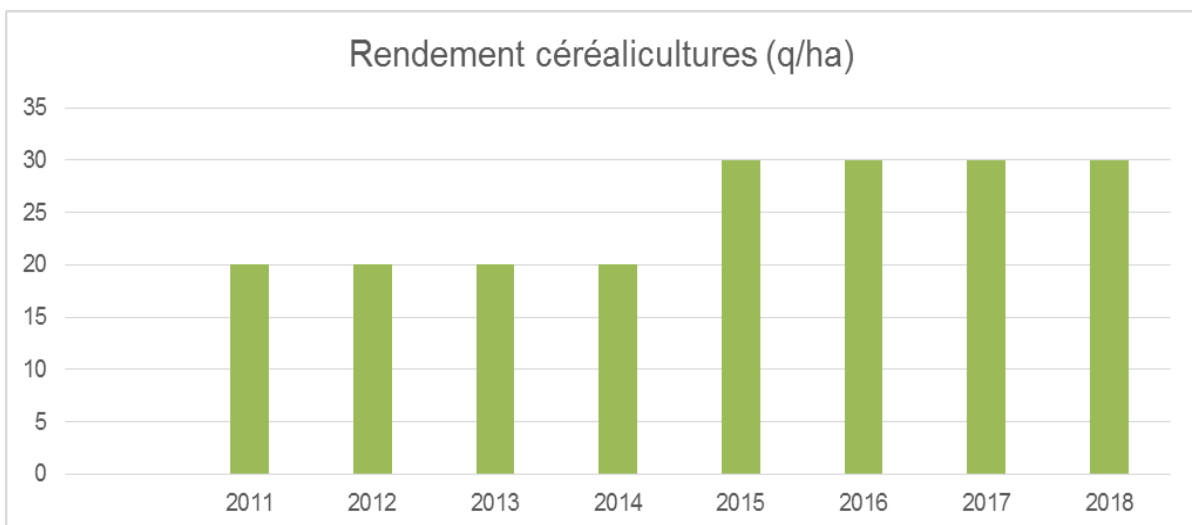
**Fig. V-5** Evolution du rendement des agrumes



**Fig. V-6** Evolution du rendement des oliviers



**Fig. V-7** Evolution du rendement des arbres fruitiers divers



**Fig. V-8** Evolution du rendement des céréalicultures

## Interprétation

Sur les graphes, on remarque une évolution notable de rendement, notamment celui des agrumes et des oliviers où il est respectivement multiplié par 2.5 et par 2. Pour les agrumes cette évolution s'explique par la conversion d'une partie de la superficie irriguée au mode gravitaire vers le goutte à goutte, ce qui a entraîné une disponibilité de l'eau en quantité suffisante pour les cultures. Quant aux oliviers l'évolution de leur rendement s'explique par l'augmentation de leurs superficies mais aussi par le fait que les cultures sont pratiquées de manière semi-intensive.

Néanmoins, on remarque une certaine constance dans le rendement des arbres fruitiers divers et des céréalicultures. Ceci peut s'expliquer par le fait que le rendement des arbres fruitiers divers, est un rendement moyen de plusieurs arbres (pruniers, pêchers, poiriers, etc.). Quant aux céréalicultures, il s'agit en fait de céréales de multiplication, l'irrigation par les eaux épurées des céréales destinées à la consommation étant interdite. Il s'agit donc de produire des céréales assez suffisantes pour les plantations prochaines.

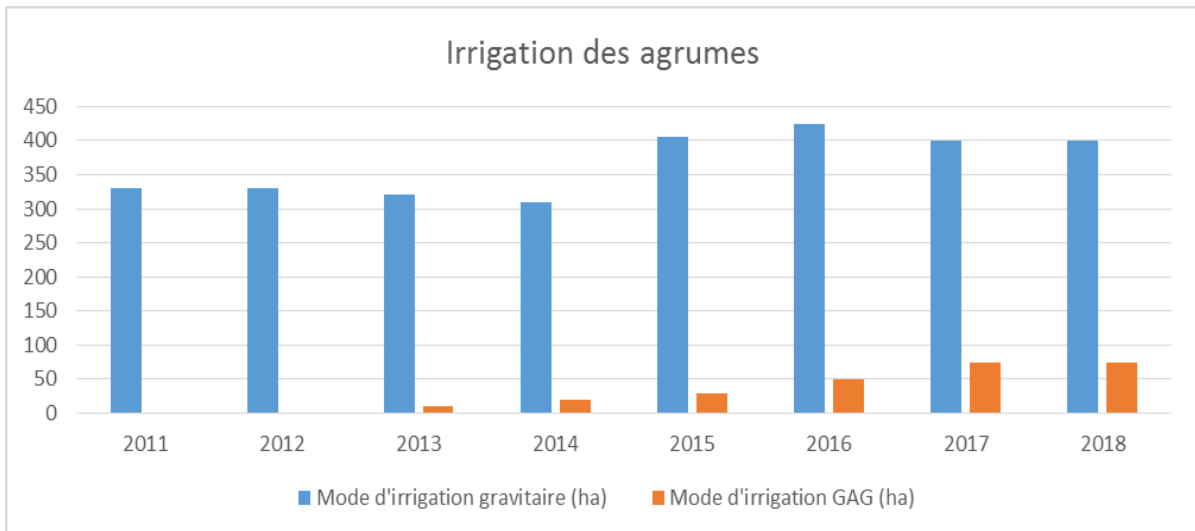
### V.3 Les modes d'irrigation pratiqués

Le mode d'irrigation le plus pratiqué au niveau du périmètre était le mode gravitaire, néanmoins, depuis 2013, on assiste à une reconversion du mode d'irrigation vers le goutte à goutte. Le tableau ci-dessous nous donne les proportions de chaque type d'irrigation en fonction des cultures (tableau V-3).

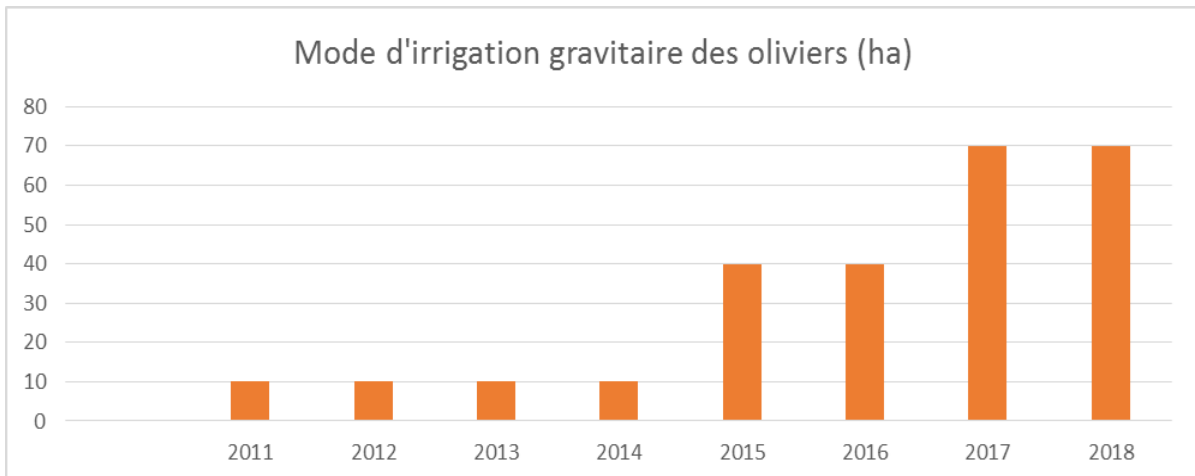
**Tableau V-3** Modes d'irrigation selon le type de culture [65]

Année	Modes d'irrigation (ha)					
	Agrumes		Oliviers	Arbres Fruitiers Divers		Céréalicultures
	Gravitaire	GAG	Gravitaire	Gravitaire	GAG	Aspersion
2011	330	0	10	15	0	5
2012	330	0	10	5	10	5
2013	320	10	10	0	20	5
2014	310	20	10	50	20	5
2015	405	30	40	100	50	40
2016	425	50	40	100	50	50
2017	400	75	70	100	50	50
2018	400	75	70	100	50	50

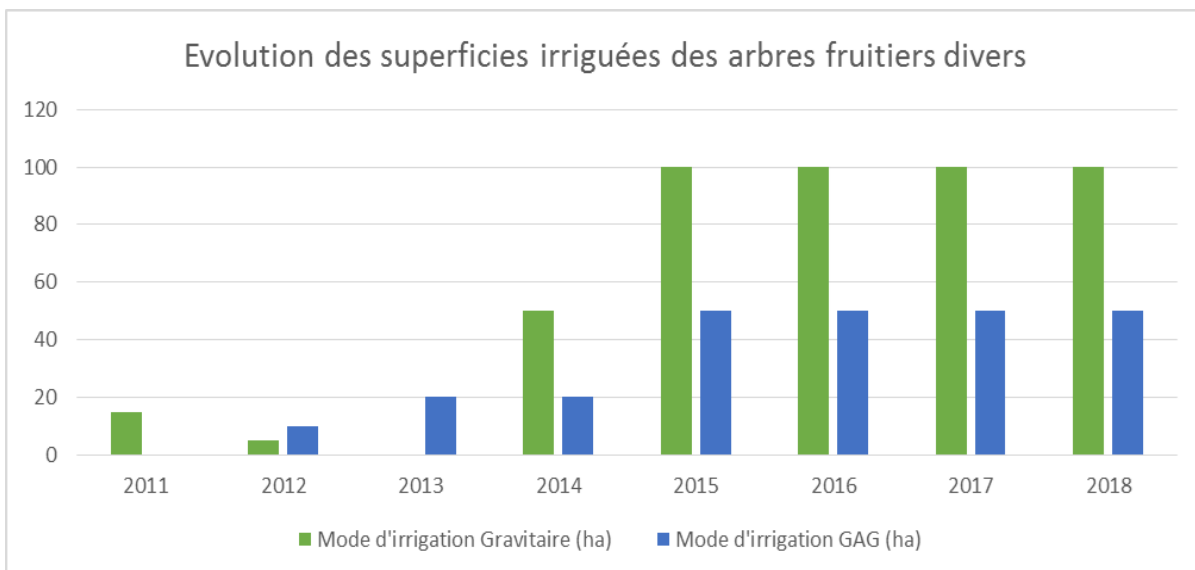
Ce tableau nous donne les graphes suivants (fig. V-9, fig. V-10, fig. V-11, fig. V-12) :



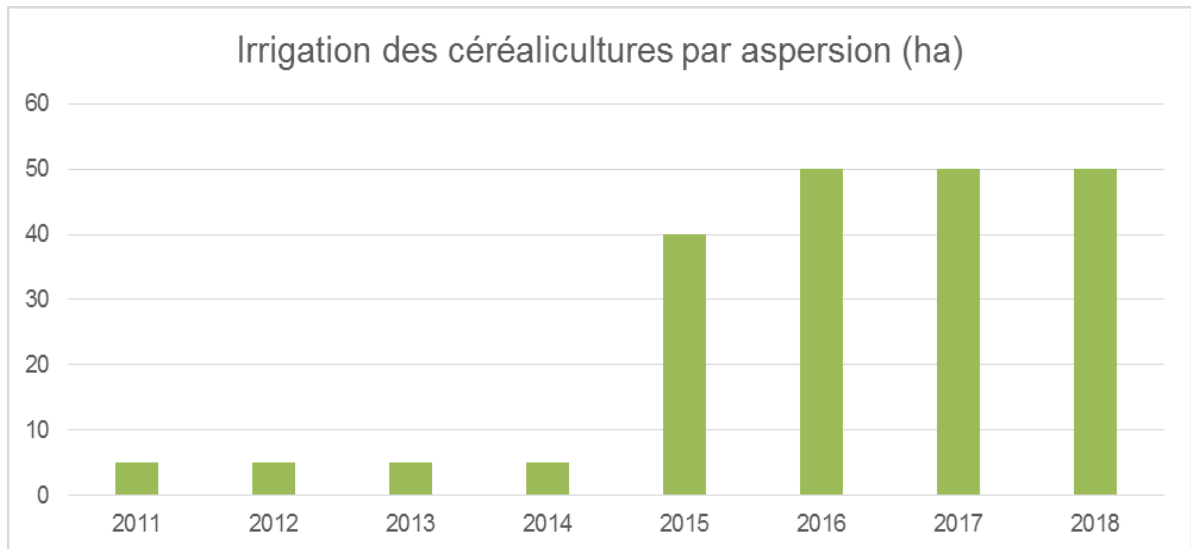
**Fig. V-9** Mode d'irrigation des agrumes



**Fig. V-10** Mode d'irrigation des oliviers



**Fig. V-11** Modes d'irrigation des arbres fruitiers divers



**Fig. V-12** Irrigation des céréalicultures

### Interprétation

De 2012 à 2018, on assiste à une faible reconversion du mode d'irrigation qui était initialement le mode gravitaire vers le goutte-à-goutte sauf au niveau des céréalicultures (où le seul mode d'irrigation possible est l'aspersion) et des oliviers. L'irrigation goutte à goutte n'est pas pratiquée pour les oliviers car ces derniers ne sont pas produits en culture intensive ; l'investissement pour le GAG reviendrait alors beaucoup plus chère.

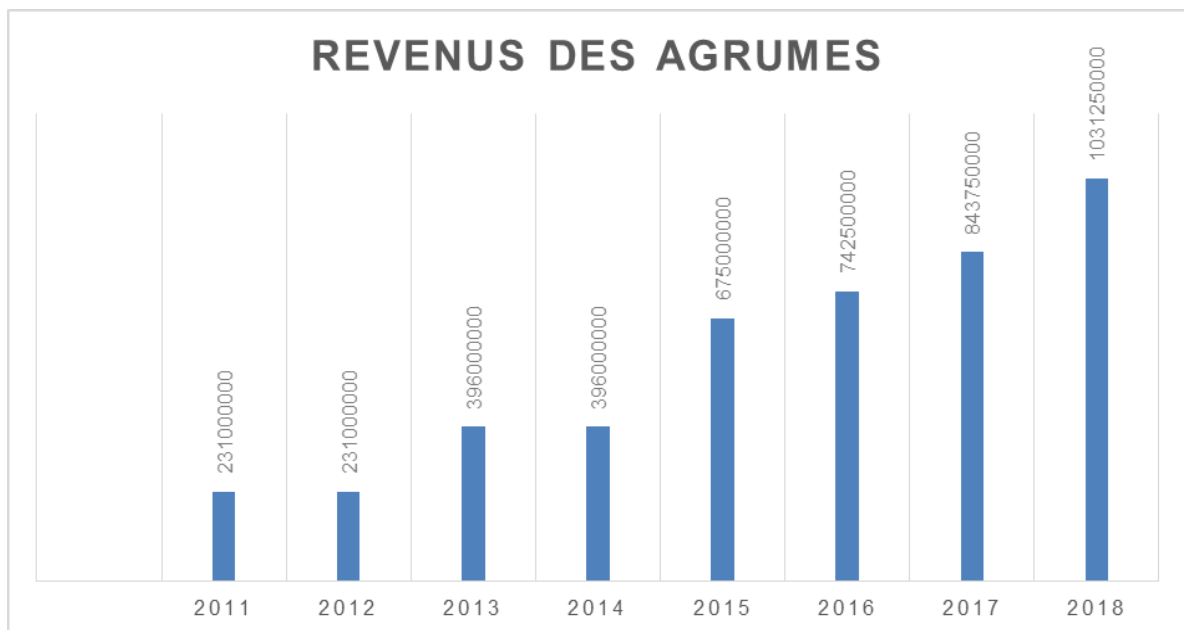
Néanmoins, malgré les multiples avantages liés l'irrigation au goutte-à-goutte, les agriculteurs demeurent réticents face à celle-ci. Leur réticence s'explique d'une part par le coût élevé des installations du goutte-à-goutte, de leur difficulté d'entretien (changement régulier des filtres) et la non maîtrise de cette technique (entretien, dose d'irrigation) et d'autre part, d'un manque d'information et de sensibilisation sur les avantages liés à cette technique (réduction de la main d'œuvre, facilité d'utilisation des fertilisants, économie de l'eau).

### **V.4 Apport économique de la réutilisation des eaux épurées de la STEP pour l'irrigation de la plaine de Hennaya**

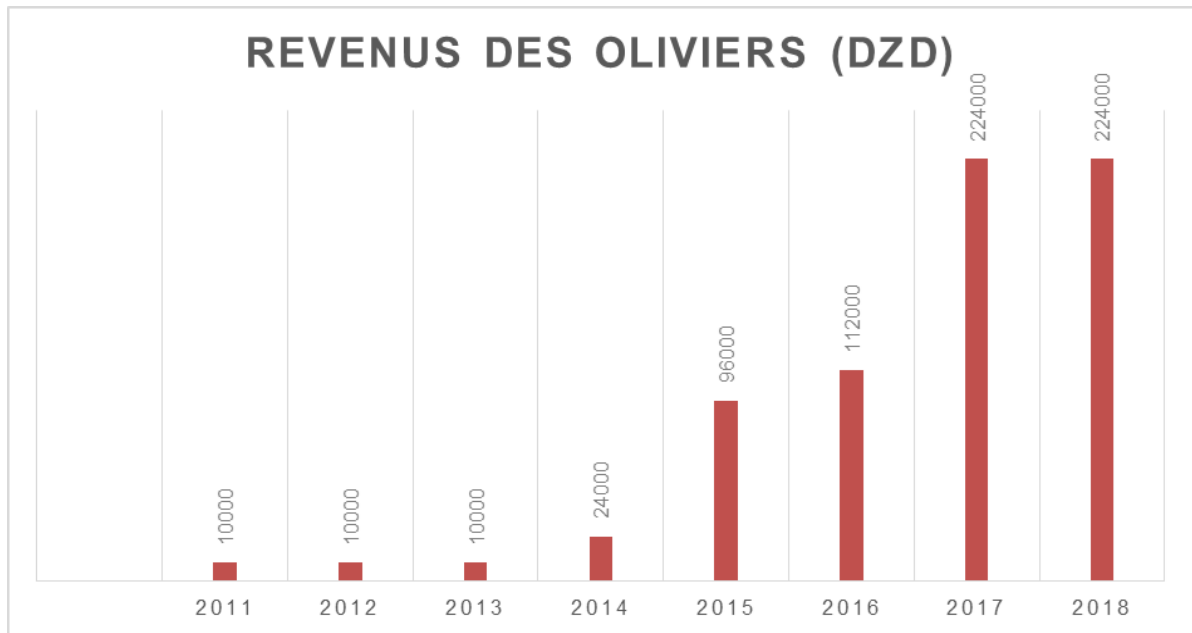
**Tableau V-4** Apport financier [65]

Année	Revenus des productions en DZD				Total des revenus
	Agrumes	Oliviers	Arbres fruitiers divers	Céréales	
2011	231000000	10000	37500	450000	231497500
2012	231000000	10000	37500	450000	231497500
2013	396000000	10000	112000	450000	396572000
2014	396000000	24000	392000	450000	396866000
2015	675000000	96000	840000	540000	681336000
2016	742500000	112000	840000	675000	750202000
2017	843750000	224000	840000	675000	851564000
2018	1031250000	224000	840000	675000	1039064000

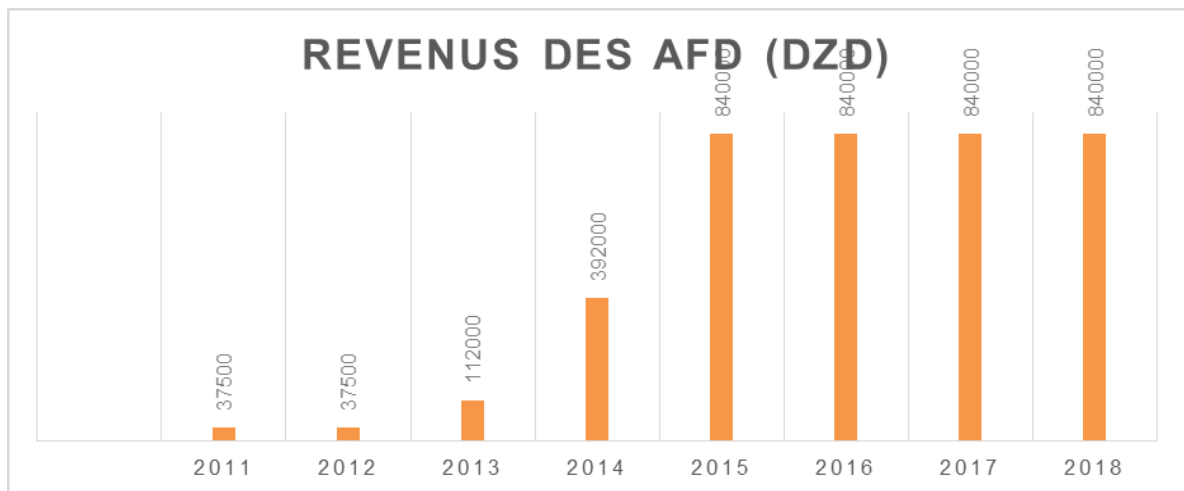
De ce tableau découle les graphes suivants (Fig. V-13, fig. V-14, fig. V-15, fig. V-16).



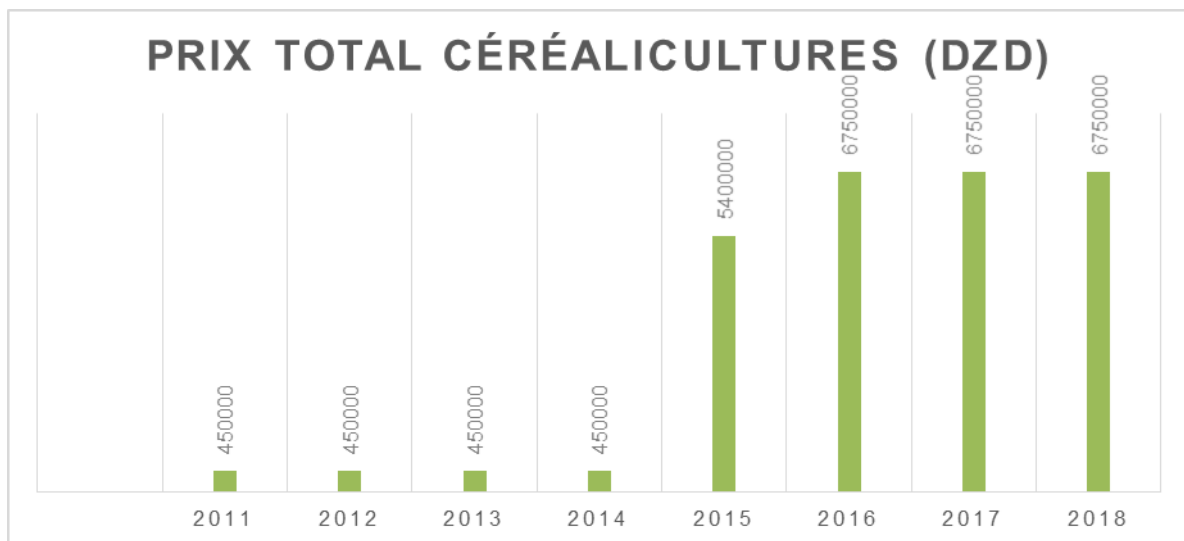
**Fig. V-13** Apport financier des agrumes



**Fig. V-14** Apport financier des oliviers



**Fig. V-15** Apport financier des arbres fruitiers divers



**Fig. V-16** Apport financier des céréalicultures

### **Interprétation**

On remarque d'après les figures que l'exploitation du périmètre engendre un apport financier important aux agriculteurs. Cet apport passe de 231.000.000 DZD à 1.031.250.000 DZD pour les agrumes, de 10.000 DZD à 224.000 DZD pour les olives, de 375.00 DZD à 840.000 DZD pour les arbres fruitiers divers et de 450.000 DZD à 6.750.000 DZD de 2012 à 2018. Cette situation est due au fait que l'eau épurée est distribuée gratuitement aux agriculteurs et au soutien que l'Etat apporte aux agriculteurs pour l'amélioration des techniques culturales.

Cet important bénéfice a eu comme conséquence, l'amélioration des conditions de vie des agriculteurs, la disponibilité des denrées sur le marché en quantité suffisante, la création d'emplois.

L'investissement dans le périmètre par l'Etat rentre dans le cadre des objectifs du développement durable établis par les Etats membres des Nations Unis, notamment l'éradication de la pauvreté et la lutte contre la faim à travers l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire, l'accès à des emplois décents d'ici 2030.

Ce projet rentre également dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau GIRE par la création de sources d'irrigation, la protection de l'environnement.

Les productions sont vendues localement, ce qui conduit à une disponibilité des denrées alimentaires à des prix abordables.

### **V.5. Calcul des besoins en eau nécessaires pour toute la surface du périmètre**

Pour cette partie, nous avons utilisé les formules de calcul de besoin en eau déjà énoncées dans le chapitre 02. Pour le calcul de l'ETP, nous avons utilisé la formule de Thornthwaite (formule 8) car compte tenu de notre difficulté à avoir les données météorologiques pour appliquer les formules plus sûres comme celle de Penman- Monteith (qui est d'ailleurs recommandée par la FAO).

Pour les données de pluviométrie et de température, nous avons utilisé une série de moyenne de 10 ans (2007-2017) (annexe 2).

Pour le calcul des besoins en eau net d'irrigation (en mm), nous avons utilisé la formule 14. Cependant, il faut noter que les valeurs négatives ne sont pas prises en compte pour le calcul des besoins car ces dernières indiquent que la culture n'a pas besoin d'eau.

Ce besoin, étant en mm, pour le trouver en m<sup>3</sup>/ha, on le multiplie par un facteur d'ajustement des unités. Ce facteur est de 10. [64]

Compte tenu de la variabilité du climat, une correction est nécessaire. Le besoin en eau brut des cultures est obtenu en divisant la valeur du besoin en eau net par le facteur de correction. Ce facteur de correction E est de 0.72 en Algérie [64].

L'estimation prévisionnelle des superficies des cultures est faite sur la base de l'évolution observée depuis 2012.

Les résultats des besoins en pour chaque type de culture sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau V.6** Prévisions besoins en eau

Cultures	Besoins en eau net d'irrigation en mm	Besoins en eau net des cultures (m3/ha)	Besoins en eau brut des cultures (m3/ha)	Superficie prévisionnel des cultures (ha)	Volume nécessaire (m3)
Olives	118.73	1187.34	1649.09	90	148418.04
Fruits	203.60	2035.99	2827.77	177	500515.26
Agrumes	290.36	2903.62	4032.80	575	2318862.40
Blé	206.04	2060.44	2861.72	20	57234.40
Orge	180.30	1802.96	2504.11	20	50082.19
Autres céréales	321.61	3216.14	4466.87	30	134006.00
<b>Total</b>	<b>1320.65</b>	<b>13206.50</b>	<b>18342.36</b>	<b>912</b>	<b>3209118.28</b>

On remarque sur le tableau V.5 que les céréales sont les plus grandes consommatrices d'eau.

Pour les agrumes cette consommation est due au fait que ce sont des cultures à 4 saisons donc l'irrigation se fait tous les mois de l'année et pour les fruits, elle se fait pendant l'été où les cultures ont besoin de plus d'eau en raison d'un manque de précipitations.

Sur le tableau V.6 on remarque qu'après les calculs pour couvrir toute la superficie du périmètre il faut 3.209.118,28 m<sup>3</sup> d'eau brut. Il faut ajouter à cela un volume correspondant aux pertes d'eau durant la livraison (transport, distribution, application,...) Cette capacité peut effectivement être atteinte car la STEP produit en moyenne 10.95 Hm<sup>3</sup>/an d'eau épurées. Malheureusement, à ce jour, seulement 2 Hm<sup>3</sup> sont allouées au périmètre irrigué. Cela est dû au fait que le bassin de régulation de l'ONID ne peut que contenir 9300 m<sup>3</sup> et il n'est rempli que deux fois au maximum par jour.

Pour atteindre le volume qui couvrirait tout le périmètre,

- l'étude et la réalisation d'un second bassin de régulation pourrait être envisagé. Il faut ajouter à cela ;
- la conversion du mode d'irrigation vers le goutte à goutte qui est un mode moins consommateur d'eau. Néanmoins pour un meilleur rendement du réseau du goutte à goutte, il faut améliorer la qualité d'épuration des eaux car si ces dernières sont trop chargées, cela risque de colmater les conduites du réseau du goutte à goutte ;
- Etablir un planning de remplissage du bassin déjà existant et augmenter le nombre de remplissage du bassin.

**Tableau V.5** calcul des besoins en eau des cultures

	Mois	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	juillet	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	TOTAL
	P	47	46	43	43	29	8	2	2	12	31	45	62	370
	Pu (0.8*P )	37.60	36.80	34.40	34.40	23.20	6.40	1.60	1.60	9.60	24.80	36.00	49.60	296
	ETP	117.27	76.14	48.00	33.96	28.26	25.59	42.89	48.59	60.99	91.28	128.14	141.40	842.50
<b>Olives</b>	coefficient cultural [Kc]				0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
	ETM=kc*ETP				16.98	14.13	12.79	21.44	24.29	30.49	45.64	64.07		
	besoins en eau d'irrigation (mm) : M=ETM-Pu-R	R=0				-17.42	-9.07	6.39	19.84	22.69	20.89	20.84	28.07	118.73
<b>Fruits</b>	coefficient cultural [Kc]			0.56	0.71	0.85	0.89	0.89	0.89	0.8	0.65	0.55		
	ETM=kc*ETP			26.88	24.11	24.02	22.77	38.17	43.24	48.79	59.33	70.48		
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0			-7.52	-10.29	0.82	16.37	36.57	41.64	39.19	34.53	34.48	203.60
<b>Agrumes</b>	coefficient cultural [Kc]	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
	ETM=kc*ETP	87.95	57.11	36.00	25.47	21.19	19.19	32.16	36.44	45.74	68.46	96.11	106.05	
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	50.35	20.31	1.60	-8.93	-2.01	12.79	30.56	34.84	36.14	43.66	60.11	56.45
<b>Blé</b>	coefficient cultural [Kc]	0.78	1.15	1.15	1.15	0.3						0.4	0.78	
	ETM=kc*ETP	91.47	87.56	55.20	39.06	8.48						51.26	110.29	
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	53.87	50.76	20.80	4.66	-14.72					15.26	60.69	206.04
<b>Orge</b>	coefficient cultural [Kc]	0.73	1.15	1.15	1.15	0.25						0.3	0.73	
	ETM=kc*ETP	85.61	87.56	55.20	39.06	7.06						38.44	103.22	
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	48.01	50.76	20.80	4.66	-16.14					2.44	53.62	180.30
<b>Autres céréales</b>	coefficient cultural [Kc]	1	1	1	1	1						1	1	
	ETM=kc*ETP	117.27	76.14	48.00	33.96	28.26						128.14	141.40	
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	79.67	39.34	13.60	-0.44	5.06					92.14	91.80	321.61

### **Conclusion générale:**

A travers notre travail mené, nous réalisons que la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture s'est avérée être une solution adaptée et efficace car elle a entraîné la disponibilité de l'eau en quantité suffisante pour l'agriculture, la diminution des risques de pollution et de maladies liées à l'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation, la préservation des ressources d'eau souterraines et de surface et les conflits liés à la répartition des eaux dans les périmètres, la contribution à la rentabilité de la production des aliments particulièrement les agrumes et les fruits divers en général ce qui pousse à dire que cette contribution participe à l'autosatisfaction alimentaire qui est le projet et l'objectif de l'Etat algérien.

La qualité de l'eau liée à l'efficacité du traitement de la STEP de Ain El Houtz agit directement sur la production qui accroît chaque année depuis la réhabilitation du périmètre allant de 330 ha de 2012 à 745 ha en 2018 avec un apport financier important engendrés par cette croissance de la production allant de 231.497.500 DZD à 1.039.064.000DZD . Ce qui a pour conséquence directe l'amélioration des conditions de vie des populations et un meilleur environnement vivable pour l'épanouissement des êtres vivants (humains et animaux).

De travail, reste encore à effectuer, tant au niveau de la STEP que du périmètre irrigué lesquels devraient adopter des techniques modernes pour améliorer leurs rendements et productivité.

Pour la STEP, il s'agira de rendre encore plus pointilleux le processus d'épuration en rénovant les filières déjà existantes et en dotant la station de déshydratation mécanique pour pallier au problème d'excès de boue.

Pour le périmètre irrigué, il s'agira surtout d'améliorer l'utilisation de l'eau pour l'irrigation en optant pour des méthodes moins consommatrices d'eau (comme le goutte à goutte).

L'Etat pourrait aussi envisager la création d'industries de transformation de denrées aux alentours du périmètre afin d'augmenter la participation de ce projet à l'économie nationale

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] : BAUMONT S, CAMARD J P, LEFRANC A, FRANCONI A, Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 2004, pp 220.
- [2] : JEAN RODIER, BERNARD LEGUBE, NICOLE MERLET, L'analyse de l'eau : contrôle et interprétation, 10<sup>ème</sup> édition, DUNOD, 2009, 2016
- [3] : BOUTOUX Jean, Introduction à l'étude des eaux douces-eaux naturelles-eaux usées-eaux de boisson, Edition CEBEDOC, liège, 1983.
- [4] : G .Abdelkader 1984 Tome 1 « épuration biologique des eaux usées ».
- [5] : MAYET J, La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, 2<sup>ème</sup> Edition, Paris, 1994, pp 382.
- [6] : Vaillant J R, (1974) Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles, Edition, Eyrolles, Paris.
- [7] : RODIER Jean, « L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », 8<sup>ème</sup> édition, DUNOD, PARIS, 1996.
- [8] : RAKREK Zakaria, « La station d'épuration de Chlef performances épuratoires et rendements », Master Hydraulique, Université de Tlemcen, 2013.
- [9] : PAUL JEAN, BEADRY, « chimie des eaux » le griffon d'argile, 1992.
- [10] : Alain Botta, Laurence Bellon, (2001) « Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale ». Université Euro Méditerranée TEHYS.
- [11] : RODIER J, « L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer », 8<sup>ème</sup> Edition  
DUNOD technique, Paris, 2005, pp 1008-1043.
- [12] : FABY J A, BRISSAUD F, « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation », Office International de l'Eau, 1997, pp 76.
- [13] : RODERT Thomazeau, « Station d'épuration, Eaux potables-Eaux usées », Edition technique et Documentation, Paris, 1981.
- [14] : METAHRI Mohammed Saïd, « Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou », Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, pp 172.

- [15] : LAKHDARI Bouazza, « effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz », mémoire de Magister en chimie, Université de Tlemcen, 2011, pp 106.
- [16] : Taradat M H, (1992), « Chimie des eaux. » Première, le griffon d'argile inc, canada. 537p.
- [17]: Suschka J, Ferreira E. (1986), Activated sludge respirometric measurements, Water research, 1986, pp.137-144.
- [18] : DONNIER Brigitte, « La pollution chimique en méditerranée », Laboratoire. C. E. R. B. O. M., Nice, France.
- [19] : MARTIN G, « Le problème de l'azote dans les eaux », Ed technique et documentation, Paris, 1979, pp 279.
- [20] : Pierre J, Lienard A, Heduit A, P Duchene, (1990), « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités », Document technique.
- [21] : Feray C, (2000), « Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes », Thèse de doctorat sciences naturelles, Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon, Lyon, France, 204 p.
- [22] : Draa el guendoul Nawel, Lounis najjima, « Etude d'amélioration des performances de la station d'épuration de Zemmouri », mémoire de master chimie UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES
- [23] : POTLON J L, Et ZYSMAN K, (1998), « le guide des analyses de l'eau potable », ED, SEPT, France, P 79-213.
- [24]: Asano T, (1998), "Irrigation with Reclaimed municipal waste water: California Experiences." Options Méditerranéennes. Série A. Séminaire Méditerranéen 1. Reuse of Low, Quality Water for Irrigation in Mediterranean Countries.
- [25] : Traité de l'environnement, Technique de l'ingénieur, Volume G1210.
- [26] : CSHPF, (1995), « Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines », conseil supérieur d'hygiène publique de France section des eaux ; 22p.[http://www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re\\_1095\\_desinfection.htm](http://www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re_1095_desinfection.htm) (consulté le 6-02-2015).
- [27] : JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 26, 23 avril 2006
- [28] : Saggai M M, (2004), « Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla ». Mem. Mgister. Univ. Ouargla.64p.

- [29] : Mohand Saïd OUALI, « Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux », 2ème édition, office des publications universitaires : 03-2008
- [30] : Banzaoui N Et Elbouz F, (2009), « Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt ».
- [31] : Josep P, (2002), « station d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation ».
- [32] : Degremont2005 « Mémento Technique de l'eau » 2ème édition tome 1 édition Lavoisier
- [33] : Hatem Dhaouadi, « Traitement des Eaux Usées Urbaines »
- [35] : Amir S. 2005, « contribution à la valorisation de boue de station d'épuration par compostage », thèse de doctorat à l'institut polytechnique Toulouse
- [36] : Franck R, (2002), « Analyse des eaux, Aspects règlementaires et techniques », Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, pp165-239.
- [37] : Attab Sarah, (2011), « amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local », Mémoire de magister en biologie, université Ouargla.
- [38] : Hadjou Belaid Z, (2013), « Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain El Houtz », Mémoire de master en hydraulique, Université Abou- Bakr Belkaid de Tlemcen.
- [39] : Ayse TOSUN-BAYRAKTAR « introduction aux traitements des eaux usées »
- [40] : Banzaoui N et Elbouz F, Épuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba, 2009.
- [41] Memento Degremont
- [42] : Jean-Paul Renoux et Alix d'Armaillé, « 10 clés pour comprendre l'irrigation en agriculture »
- [43] : Schmidt R, « l'utilisation des eaux usées organiques », 1981.
- [44] : V. Lazarova (CIRSEE - Lyonnaise des Eaux) et al. « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », n°212, pp.39-46, mai 1998.
- [45] : V. Lazarova et Brissaud F, « Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France », 2007.
- [46] : SEACO
- [47] : Puil C, « la réutilisation des eaux usées urbaines après épuration ». , université de picardie amiens, 1998.

- [48] : Office national de l'assainissement d'Ain Témouchent, 2017.
- [49] : Office national d'assainissement, PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT, Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles, Spécifications physico-chimiques et biologique
- [50] : Organisations des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, « GESTION DES EAUX EN IRRIGATION », Manuel de formation no5, METHODES D'IRRIGATION
- [51] : Aouata Ibrahim, mémoire de fin d'étude « Étude et Développement de l'irrigation souterraine en Algérie »
- [52] : Philippe Hartemann, « Eau de consommation, risque, santé dans Sciences Eaux & Territoires », 2013/1 (Numéro 10),
- [53] : Chéma Keffala, Casimir Harerimana, Jean-Luc Vasel , « Œufs d'helminthes dans les eaux usées et les boues de station d'épuration : enjeux sanitaires et intérêt du traitement par lagunage », Volume 11, numéro 6
- [54] : Fiche technique STEP Tlemcen
- [55] : Office National de l'Irrigation et du Drainage, O.N.I.D .Hennaya
- [56] : Algérienne Des Eaux, A.D.E /W .Tlemcen
- [57] : Direction des Ressources en Eaux, DRE/W.Tlemcen
- [58] : Direction de l'hydraulique de la wilaya de tlemcen, projet : ETUDE D'UN SYSTEME D'EPURATION DE LA PARTIE OUEST DU G.U.TLEMCEN
- [59] : laboratoire de la STEP de Ain El Houtz ONA 2005
- [60] : Doorenbos J. et Pruitt W.O., 1986. « Les besoins en eau des cultures ». Bulletin d'irrigation et de drainage n°24, Rome. 198p.
- [61] : Johnny. L, 2008.Etude de faisabilité de l'aménagement hydro agricole de la plaine de Lhomond dans la 11ème section communale d'Aquin : zone frangipane, diplôme d'ingénieur. Université d'Etat d'haiti.
- [62] : <https://www.Naiotechnologie.com/irrigation-déterminez-besoins-eau-cultures-stocks-deaudea disponibles/>
- [63] : Chemloul Z. et Sellal S., 2001. « Détermination des besoins en eau de la tomate conduite en irrigation localisée 'goutte à goutte' sous abri-serre dans le littoral Algérois ». Mémoire d'ingénieur d'Etat en agronomie, hydraulique agricole, INA, El Harrach, pp: 224.
- [64] : FAO, « besoins et prélèvement d'eau par pays », p.11
- [65] : Mr Abdelkader Bennacer, DSA, Hennaya, Tlemcen.

## ANNEXE 01 : tableau des valeurs des paramètres physico-chimique et biologique durant la période février-mars

Température

Dates	Entrée	Sortie
03-févr	17.5	8.75
04-févr	18.25	9.35
05-févr	18.57	16
06-févr	19.49	13.82
07-févr	18.37	11.25
09-févr	17	17
10-févr	18	13.75
11-févr	18.25	13.91
12-févr	19	14
13-févr	19.75	15.35
14-févr	19.85	17.62
16-févr	17	17
17-févr	18.25	12
18-févr	18.5	13.5
19-févr	18.5	11.75
20-févr	19	13
21-févr	18.75	12.5
23-févr	18	18
24-févr	18.5	13
25-févr	17.87	13.5
26-févr	18.5	12.5
27-févr	18.62	11
28-févr	18.5	13.25
02-mars	17	17
03-mars	19.25	17.5
04-mars	18.75	14.5
05-mars	20.5	17.75
06-mars	19.75	15
07-mars	18	12.5
09-mars	16	16
10-mars	17.8	13.5
11-mars	17.75	12.87
12-mars	18.75	15.25
13-mars	19	15.75
14-mars	19.75	16.45

Ph

Dates	Entrée	Sortie
03-févr	7.87	7.59
04-févr	7.84	7.67
05-févr	7.78	7.41
06-févr	7.78	7.61
07-févr	7.78	7.52
09-févr	7.78	7.54
10-févr	7.74	7.56
11-févr	7.71	7.53
12-févr	7.78	7.41
13-févr	7.92	7.63
14-févr	7.77	7.61
16-févr	7.82	7.51
17-févr	7.78	7.44
18-févr	7.77	7.48
19-févr	7.78	7.81
20-févr	7.79	7.61
21-févr	7.78	7.51
23-févr	7.76	7.52
24-févr	7.81	7.42
25-févr	7.78	7.42
26-févr	7.77	7.61
27-févr	7.73	7.54
28-févr	7.78	7.43
02-mars	7.78	7.62
03-mars	7.78	7.58
04-mars	7.72	7.47
05-mars	7.89	7.73
06-mars	7.78	7.43
07-mars	7.78	7.62
09-mars	7.82	7.42
10-mars	7.7	7.48
11-mars	7.77	7.5
12-mars	7.78	7.41
13-mars	7.76	7.45
14-mars	7.78	7.51

## Oxygène dissous

Dates	Entrée	Sortie
03-févr	0.99	4.29
04-févr	0.87	4.91
05-févr	0.79	4.91
06-févr	0.83	4.91
07-févr	0.88	4.89
09-févr	0.72	4.78
10-févr	0.71	4.8
11-févr	0.93	4.81
12-févr	0.78	4.91
13-févr	0.91	4.97
14-févr	0.92	5.01
16-févr	0.74	4.72
17-févr	0.62	4.81
18-févr	0.97	5.09
19-févr	0.94	5.11
20-févr	0.84	5.1
21-févr	0.63	5.06
23-févr	0.95	4.9
24-févr	0.83	5.03
25-févr	1.13	4.82
26-févr	0.91	4.89
27-févr	0.94	4.88
28-févr	0.79	5.02
02-mars	0.74	4.92
03-mars	0.91	4.93
04-mars	0.93	5.09
05-mars	0.92	5.02
06-mars	0.83	4.98
07-mars	0.97	5.04
09-mars	0.92	4.94
10-mars	0.88	4.95
11-mars	0.87	4.8
12-mars	0.91	4.92
13-mars	0.9	4.8
14-mars	0.93	4.92

## Conductivité

Dates	Entrée	Sortie
03-févr	1108	811
04-févr	1102	824
05-févr	1108	840
06-févr	1082	901
07-févr	1050	855
09-févr	1081	823
10-févr	1308	871
11-févr	1311	824
12-févr	1218	869
13-févr	1017	742
14-févr	1108	1001
16-févr	1204	891
17-févr	1208	826
18-févr	1043	767
19-févr	1088	791
20-févr	1308	1008
21-févr	1081	961
23-févr	1050	850
24-févr	1208	907
25-févr	1214	971
26-févr	1208	849
27-févr	1150	875
28-févr	1115	971
02-mars	1081	788
03-mars	1311	908
04-mars	1306	1004
05-mars	1324	1106
06-mars	1208	987
07-mars	1216	1105
09-mars	1194	917
10-mars	1250	1005
11-mars	1150	920
12-mars	1306	941
13-mars	1005	850
14-mars	1201	946

## Turbidité

Dates	Entrée	Sortie
03-févr	106	12
04-févr	69	14
05-févr	81	16
06-févr	98	14
07-févr	180	18
09-févr	75	13
10-févr	115	11
11-févr	63	14
12-févr	121	14
13-févr	61	13
14-févr	192	17
16-févr	169	14
17-févr	126	13
18-févr	129	16
19-févr	186	59
20-févr	201	76
21-févr	116	39
23-févr	195	28
24-févr	242	21
25-févr	192	22
26-févr	303	71
27-févr	252	70
28-févr	115	61
02-mars	208	39
03-mars	202	92
04-mars	192	57
05-mars	211	69
06-mars	327	41
07-mars	152	40
09-mars	348	21
10-mars	195	35
11-mars	258	50
12-mars	116	19
13-mars	205	48
14-mars	121	39

## Matières en suspension

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
Entrée	78	79	165	224	215	195
Sortie	10	11	45	13	49	37
Norme	35	35	35	35	35	35

## Phosphates

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
Entrée	6.8	9.2	5	9.7	2.4	2.7
Sortie	5.1	6.3	2.6	4.5	2.2	4.3

## Ammoniac

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
Entrée	5.6	2.7	1.2	1.2	2.4	2.7
Sortie	3.4	4.5	0.9	0.6	0.9	1.5

## Nitrates

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
Entrée	29.2	40.9	55.8	53.85	48.2	38.7
Sortie	4.3	2.9	11.93	11.93	9.4	9.67

## Nitrites

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
Entrée	1.2	0.99	0.21	0.62	1.1	0.9
Sortie	0.66	0.3	0.11	0.08	0.07	0.08

## Demande chimique en oxygène

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
DCOentrée	328	380	405	412	329	149
DCOsortie	31	28	18	22	57	38
Norme	90	90	90	90	90	90

## Demande biochimique en oxygène

Dates	04-févr	11-févr	18-févr	25-févr	04-mars	11-mars
Entrée	103	154	125	104	146	95
Sortie	7.4	8	9.2	7	21	14
Norme	30	30	30	30	30	30

## Indice de boues

Dates	IB <sub>bassin1</sub>	IB <sub>bassin2</sub>	IB <sub>bassin3</sub>	IB <sub>bassin4</sub>
04-févr	190.1	173	203.1	184
05-févr	191	178	183	173
06-févr	190	173	177	199
11-févr	175.1	160	195.7	182
12-févr	241	226	277	345
13-févr	230	224	265	280
18-févr	256.7	220	274.6	198
19-févr	210	236	213	245
20-févr	233	230	244	250
25-févr	222.2	191	244.9	233
26-févr	183	167	240	221
27-févr	187	163	290	148

## Matières volatiles sèches

Dates	MVS <sub>bassin1</sub>	MVS <sub>bassin2</sub>	MVS <sub>bassin3</sub>	MVS <sub>bassin4</sub>
06-févr	52%	49%	55%	64%
13-févr	52%	61%	47%	43%
20-févr	43%	45%	53%	50%
27-févr	48%	46%	48%	45%

## Annexe 02 : Série de données climatiques (une moyenne de 10 ans, de 2007-2017)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Pluie	47	46	43	43	29	8	2	2	12	31	45	62	370

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T(°C)	11.7	11.1	14.6	15.6	17.6	21.8	26.1	27.5	24.9	19.8	15.5	12.9