

BADJI MOKHTAR - ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار-عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA

Année 2021



Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie  
Laboratoire de Recherche de Géologie



## Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD  
En Géologie  
Option : Eau et Environnement

**Optimisation, traitement et qualité des eaux usées épurées (éléments nutritifs, boues et métaux lourds) et impact de leur réutilisation dans l'environnement. Cas de la STEP d'El-Allélick (Annaba), N.E Algérien**

Par  
ABOUR Fella

Directeur de thèse: Pr. HANNOUCHE Mani    UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR -ANNABA.

DEVANT LE JURY

Président	HANI Azzedine	Professeur	Université Badji Mokhtar, Annaba
Examineurs	KACHI Slimane	Professeur	Université 8 Mai 1945, Guelma
	LABAR Sofiane	Professeur	Université Chadli Bendjedid, El -Tarf
	ATTOUI Badra	MCA	Université Badji Mokhtar, Annaba

## RESUME

Le présent travail de recherche porte sur l'Optimisation, le traitement et la qualité des eaux usées épurées (éléments nutritifs, boue et métaux lourds) et l'impact de leur réutilisation dans l'environnement. Cas de la STEP d'El Allélick (Annaba). Cette station d'épuration a fait l'objet d'une étude, au cours de laquelle les paramètres physico chimiques (pH, CE, O<sub>2</sub>, DBO<sub>5</sub>, DCO, MES, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Azote total, Phosphore total), les macros éléments nutritifs (Azote, Nitrates, Ammoniac et Phosphates total), les éléments micro éléments nutritifs (Cd, Pb<sup>+</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Cu<sup>+</sup>), ont été étudiés. Les valeurs obtenues montrent que les eaux usées épurées de la STEP d'El Allélick, Annaba présentent une qualité physico chimique qui respecte les normes Algériennes et par nécessité celles de l'OMS et la FAO avec un degré de restriction d'utilisation en irrigation de léger à modéré, ainsi qu'une bactériologie dépassant les normes indiquant une pollution fécale d'origine humaine en amont. Par conséquent, un traitement Tertiaire est nécessaire. Pour les métaux lourds, les concentrations enregistrées dans les eaux usées épurées (Al, Ar, Cd, Cr, Cu, Pb, Se et Zn) ne dépassent pas les normes Algériennes (2012) et FAO (1985) destinées à l'irrigation exceptée pour le Fer (0.44 mg/l) et le Manganèse (0.12 mg/l) qui dépassent largement les normes admises. Le projet de réutilisation de ces eaux usées épurées de la station dépuración d'El Allélick, Annaba est de s'en servir pour l'irrigation. De ce fait, cette eau doit répondre à certaines contraintes qualitatives pour pouvoir être utilisée. Les rejets des ces eaux usées épurées vers la mer Méditerranée via les Oueds Méboudja puis Seybouse (confluence) ont des impacts sur les milieux aquatiques (faune et flore) mais également sur la santé humaine. En effet, au terme de notre étude, le thème qui a retenu notre attention est les risques sanitaires et environnementaux des rejets des eaux usées épurées dans ces deux oueds. La méthode d'analyse en composantes principales (ACP) réalisée, nous a permis d'analyser les paramètres physico-chimiques de la pollution des eaux usées (entrée et sortie) et de mettre en évidence les groupes de pollution par des techniques géométriques.

**Mots clés :** Eaux usée épurées, optimisation, qualité, pollution, réutilisation, STEP, impact.

## الملخص

يركز هذا البحث على تحسين و معالجة وجودة مياه الصرف الصحي المصفاة (العناصر الغذائية والحماة والمعادن الثقيلة) وتأثير إعادة استخدامها في البيئة. حالة محطة معالجة مياه العلاليق (عنابة). كانت محطة المعالجة هذه موضوع دراسة ، تم خلالها تحديد المعلمات الفيزيائية والكيميائية (الأس الهيدروجيني ، التوصيل الكهربائي، الأكسجين المذاب، طلب الأكسجين البيوكيميائي في 5 ايام ، طلب الأكسجين البيوكيميائي ، المواد العالقة ، النشادر، النتريت، النترات ، النيتروجين الكامل ، الفوسفور الكامل) ، العناصر الغذائية الكلية (النيتروجين ، النترات تم دراسة المغذيات الدقيقة (الكاديوم ، الرصاص ، المنغنيز ، النحاس).

تشير القيم التي تم الحصول عليها إلى أن المياه العادمة التي تمت تنقيتها من قبل محطة معالجة مياه العلاليق بعنابة التي تتمتع بجودة فيزيائية كيميائية تفي بالمعايير الجزائرية وكذلك إلى معايير منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة مع درجة من تقييد استخدامها في الري المعتدل إلى المتوسط ، فضلا عن علم الجراثيم الذي يتجاوز المعايير التي تشير إلى التلوث البرازي من أصل بشري. لذلك ، العلاج الثلاثي ضروري. بالنسبة للمعادن الثقيلة ، لا تتجاوز التركيزات المسجلة في مياه الصرف المصفاة (الألمنيوم، الزرنيخ، الكاديوم، الكروم الكامل ، النحاس، الرصاص، الزنك والسيلينيوم) المعايير الجزائرية (2012) ومنظمة الأغذية والزراعة (1985) المخصصة للري باستثناء الحديد ( 0.44 ملجم / لتر) والمنجنيز (0.12 ملجم / لتر) والتي تتجاوز إلى حد كبير المعايير المقبولة.

مشروع إعادة استخدام هذه المياه العادمة النقية من محطة تنقية العلاليق بعنابة لاستخدامها في الري. نتيجة لذلك، يجب أن تفي هذه المياه ببعض القيود النوعية حتى يمكن استخدامها. إن تصريف هذه المياه العادمة المصفاة إلى البحر الأبيض المتوسط عبر واد مبيوجا ثم سيبوس (التقاء) له تأثيرات على البيئات المائية (الحيوانات والنباتات) ولكن أيضًا على صحة الإنسان. في الواقع، في نهاية دراستنا، كان الموضوع الذي لفت انتباهنا هو المخاطر الصحية والبيئية لتصريف مياه الصرف الصحي المعالجة في هذين الوديان. تسمح لنا طريقة تحليل المكونات الرئيسية التي تم إجراؤها بتحليل المعلمات الفيزيائية والكيميائية لتلوث مياه الصرف الصحي (المدخل والمخرج) وتسليط الضوء على مجموعات التلوث باستخدام التقنيات الهندسية.

**الكلمات المفتاحية:** مياه الصرف الصحي النقية ، التحسين ، الجودة ، التلوث ، إعادة الاستخدام ، معالجة مياه الصرف الصحي ، التأثير.

## Abstract

This research work focuses on the optimization, treatment and quality of treated wastewater (nutrients, sludge and heavy metals) and the impact of its reuse in the environment. El Allelick STEP case (Annaba). This treatment station has been the subject of a study in which the physico-chemical parameters (pH, EC, O<sub>2</sub>, BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Total Nitrogen, Total Phosphorus), macro nutrients (Nitrogen, Nitrates, Ammonia and Total Phosphates), micro nutrients (Cd, Pb<sup>+</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Cu<sup>+</sup>) have been studied. The values obtained show that the treated wastewater from the El Allélick, Annaba STEP have a physico-chemical quality that complies with Algerian standards and, of necessity, those of the WHO and FAO, with a degree of restriction of use in irrigation from slight to moderate, as well as a bacteriology that exceeds the standards indicating fecal pollution of human origin upstream. Therefore, Tertiary treatment is required. For heavy metals, the concentrations recorded in treated wastewater (Al, Ar, Cd, Cr<sub>t</sub>, Cu<sup>+</sup>, Pb<sup>+</sup>, Se and Zn) do not exceed the Algerian (2012) and FAO (1985) standards for irrigation except for Iron (0.44 mg/l) and Manganese (0.12 mg/l) which are well above the accepted standards. The project of reusing this purified wastewater from the El Allélick, Annaba wastewater treatment plant is to use it for irrigation. As a result, this water must satisfy certain quality constraints in order to be used. The discharge of this treated wastewater into the Mediterranean Sea via the Méboudja and Seybouse wadis (confluence) has impacts on aquatic environments (fauna and flora) but also on human health. Indeed, at the end of our study, the theme that caught our attention is the health and environmental risks of the discharges of treated wastewater into these two wadis. The Principal Component Analysis Method (ACP) carried out, enabled us to analyze the physico-chemical parameters of the wastewater pollution (inlet and outlet) and to reveal the pollution groups by geometric techniques.

**Keywords:** Treated wastewater, optimization, quality, pollution, reuse, STEP, impact.

## *Dédicace*

Enfin ! ... Il arrive le moment pour dédier le fruit de longues années d'étude ! En témoignage de vos sacrifices, que chaque mot de cette thèse vous exprime ma gratitude et ma grande reconnaissance :

**A ma mère** que je souhaitais être avec moi en ce jour, que Dieu ait pitié d'elle, Elle a toujours été un soutien d'encouragement et d'amour depuis ma naissance, pour les prières et la bénédiction qui m'ont été la source de réussite...

**A mon père** qui aime beaucoup le savoir, qui a toujours rêvé de voir sa fille concrétiser son rêve.

**A mon mari** source de soutien permanent depuis longtemps.

A mes enfants **Aroua et mouhamed louay**.

A mes sœurs **Amel Nadjiba hassiba et Keltoum** pour vos sacrifices.

**A toute la famille et tous mes amis** chacun avec son nom, vous m'avez beaucoup soutenu et vous allez continuer.... Merci !

**A vous,  
Je dédie cette thèse....**

## **REMERCIEMENTS**

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à dieu tout puissant qui ma aidé et donné le courage pour mener a bien ce modeste travail.*

*Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à mon directeur de Thèse Pr HANNOUCHE Mani d'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle, ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.*

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier également Pr. HENI A. Professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de la soutenance.*

*Je tiens à remercier les membres du jury, Pr. KACHI S. de l'université de Guelma, Pr. LABAR S. de l'Université d'El Tarf et Dr. ATOUI B. de l'université d'Annaba qui ont accepté d'examiner ce travail de recherche, je leur exprime ici ma gratitude.*

*Mes Vifs remerciements vont à Dr Kechiched Rabahde l'université Kasdi Merbah Ouargla qui m'a aidé et encouragé.*

*Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université d'Annaba.*

*Je tiens a remercie les personnels de Station d'épuration d'El-Alléilck annaba.*

*Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'ont aidé et encouragés pour réaliser ce mémoire, je cite spécialement Djemil Wafa.*

## *Dédicace*

Enfin ! ... Il arrive le moment pour dédier le fruit de longues années d'étude ! En témoignage de vos sacrifices, que chaque mot de cette thèse vous exprime ma gratitude et ma grande reconnaissance :

**A ma mère** que je souhaitais être avec moi en ce jour, que Dieu ait pitié d'elle, Elle a toujours été un soutien d'encouragement et d'amour depuis ma naissance, pour les prières et la bénédiction qui m'ont été la source de réussite...

**A mon père** qui aime beaucoup le savoir, qui a toujours rêvé de voir sa fille concrétiser son rêve.

**A mon mari** source de soutien permanent depuis longtemps.

A mes enfants **Aroua et mouhamed louay**.

A mes sœurs **Amel Nadjiba hassiba et Keltoum** pour vos sacrifices.

**A toute la famille et tous mes amis** chacun avec son nom, vous m'avez beaucoup soutenu et vous allez continuer.... Merci !

**A vous,  
Je dédie cette thèse....**

## **REMERCIEMENTS**

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à dieu tout puissant qui ma aidé et donné le courage pour mener a bien ce modeste travail.*

*Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à mon directeur de Thèse Pr HANNOUCHE Mani d'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle, ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.*

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier également Pr. HENI A. Professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de la soutenance.*

*Je tiens à remercier les membres du jury, Pr. KACHI S. de l'université de Guelma, Pr. LABAR S. de l'Université d'El Tarf et Dr. ATOUI B. de l'université d'Annaba qui ont accepté d'examiner ce travail de recherche, je leur exprime ici ma gratitude.*

*Mes Vifs remerciements vont à Dr Kechiched Rabahde l'université Kasdi Merbah Ouargla qui m'a aidé et encouragé.*

*Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université d'Annaba.*

*Je tiens a remercie les personnels de Station d'épuration d'El-Alléilck annaba.*

*Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'ont aidé et encouragés pour réaliser ce mémoire, je cite spécialement Djemil Wafa.*

# Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

الملخص

Abstract

**Page**

INTRODUCTION.....1

## **CHAPITRE 1 : Monographie de la zone d'étude.**

1.1. Situation géographique.....5

1.2. Géomorphologie.....6

1.3. Activités socio-économiques.....10

1.4. Généralités sur l'environnement et l'Agriculture.....10

1.4.1. L'agriculture.....10

1.4.1.1. Évolution.....11

1.4.1.2. Effets sur l'environnement.....11

1.4.2. Réseau et système d'évacuation des eaux usées de la ville d'Annaba.....11

1.4.2.1. Les systèmes d'évacuation. ....11

1.4.2.2. Les réseaux d'eaux usées de la ville d'Annaba.....13

1.4.3. Réseau d'assainissement de la commune d'EL Bouni.....13

1.5. Réseau hydrographique .....14

1.5.1. L'Oued Seybouse.....14

1.5.2. L'Oued Méboudja.....14

Conclusion.....14

## **CHAPITRE 2 : Caractéristiques géologiques de la région d'étude.**

2.1. Introduction.....	17
	<b>Page</b>
2.2. Stratigraphie.....	17
2.2.1. Les formations métamorphiques.....	18
2.2.2. Les formations sédimentaires.....	18
2.2.2.1. Le secondaire.....	18
2.2.2.2. Le Tertiaire.....	19
2.2.2.3. Le Quaternaire.....	19
2.3. Tectonique.....	20
2.4. La paléogéographie.....	20
2.5. Conclusion.....	20

## **Chapitre 3. Hydroclimatologie.**

3.1. Introduction.....	23
3.2. Climatologie de la zone d'étude.....	23
3.3. La pluviométrie.....	23
3.3.1. La pluviométrie moyenne mensuelle.....	23
3.3.2. Histogramme des précipitations mensuelles de la station des Salines (1980-2015).....	24
3.3.3. Coefficient pluviométrie (CP).....	25
3.4. Température.....	27
3.4.1. Température moyenne annuelle.....	27
3.4.2. Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station des salines.....	28
3.4.3. Diagramme Ombrothermique.....	28
3.5. Bilan hydrique.....	28
3.5.1. Évapotranspiration.....	28
3.5.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP).....	29
3.5.1.2. Évapotranspiration réelle (ETR).....	29
3.5.2. Représentation graphique du bilan hydrique.....	31
3.5.3. Ruissellement (R).....	32

3.5.4. Infiltration (I).....	32
3.5.5. Interprétation du bilan hydrique.....	33

	<b>Page</b>
3.6. Conclusion.....	33

#### **Chapitre 4. La Station d'épuration des eaux usées d'El -Allélick, Annaba.**

4.1. Introduction.....	36
4.2. Historique de la STEP et capacité en équivalent par habitant.....	36
4.3. Situation géographique de la STEP d'El-Allélick d'Annaba.....	37
4.4. Les différents ouvrages présents dans la STEP d'El-Allélick.....	37
4.5. Procédé et fonctionnement des ouvrages de la STEP d'El-Allélick, Annaba.....	38
4.5.1. Prétraitement.....	38
4.5.1.1. Le Dégrillage.....	38
4.5.1.2. Dessablage/Déshuilage.....	39
4.5.2. Décantation primaire.....	40
4.5.2.1. Répartition des eaux prétraitées.....	40
4.5.2.2. Décanteur primaire.....	41
4.5.3. Traitement Biologique.....	41
4.5.3.1. Le relevage intermédiaire.....	41
4.5.3.2. Bassin biologique (Réacteur biologique).....	42
4.5.4. Dégazeur.....	43
4.5.5. Clarificateur.....	43
4.6. Traitement des boues.....	44
4.6.1. L'Épaississement.....	44
4.6.1.1. L'épaississement des boues primaires.....	44
4.6.1.2. L'Épauvrisseur des boues biologiques.....	45
4.6.2. La Digestion.....	46
4.6.3. Déshydratation mécanique des boues.....	46
4.6.4. Stockage des boues.....	47
4.7. Conclusion.....	47

## Chapitre 5 : optimisation, traitement des eaux usées épurées et impact de leur réutilisation sur l'environnement.

	Page
5.1. Introduction.....	49
5.2. Problématique.....	49
5.3. Intérêt de la réutilisation des eaux usées épurées.....	49
5.4. Les analyses des eaux usées épurés de la station d'EL-Alléick.....	49
5.4.1. Prélèvement et échantillonnages.....	49
5.4.1.1 Le prélèvement.....	49
5.4.1.2. L'échantillonnage.....	50
5.4.2. Méthode et matériels.....	50
5.4.2.1. Paramètres physique-chimique.....	50
5.4.2.1.1 .Le pH.....	50
5.4.2.1.2. La conductivité électrique. ....	51
5.4.2.1.3. oxygène disous O <sub>2</sub> .....	51
5.4.2.1.4.La DBO <sub>5</sub> .....	51
5.4.2.1.5. La DCO.....	52
5.4.2.1.6.Les MES.....	52
5.4.2.1.7.Les nitrites.....	52
Les Macro-éléments nutritifs (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NT, PT).....	52
5.4.2.1.8.L'ammoniac.....	52
5.4.2.1.9.Les nitrates.....	53
5.4.2.1.10.L'azote.....	53
5.4.2.1.11.Phosphore totale.....	53
5.4.2.2. Les paramètres microbiologiques.....	53
5.4.2.2.1. Coliformes totaux.....	54
5.4.2.2.2. Coliformes fécaux.....	54

	<b>Page</b>
5.4.2.2.3. Streptocoques fécaux.....	54
5.4.2.3. Les métaux lourds.....	55
5.4.2.3.1. Aluminium.....	55
5.4.2.3.2. L’Arsenic.....	55
5.4.2.3.3. Le Chrome totale.....	56
5.4.2.3.4. Le Fer.....	56
5.4.2.3.5. Le Sélénium.....	56
5.4.2.3.6. Le Zinc.....	57
Les Micro-éléments nutritifs (Cd, Cu, Pb, Mn).....	57
5.4.2.3.7. Le Cadmium.....	57
5.4.2.3.8. Le Cuivre.....	57
5.4.2.3.9. Le Plomb.....	58
5.4.2.3.10. Le Manganèse.....	58
5.4.3.4. Les boues.....	58
5.4.2.4.1. Épaississement.....	58
5.4.2.4.2. Digestion.....	59
5.4.2.4.3. Déshydratation.....	59
5.4.3. Résultats et discussions.....	59
5.4.3.1. Les paramètres physique-chimique (période 2015-2016).....	59
5.4.3.2. Les paramètres microbiologique.....	60
5.4.3.3. Les métaux lourds.....	60
5.4.3.4. Les Boues. ....	61
6.5. Impact des eaux usées épurées et des Boues dans la station d’El Allélick, Annaba dans l’environnement.....	64
6.5.1. Introduction.....	64

	<b>Page</b>
6.5.2. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées de la station d'El Allélick, Annaba.....	64
6.5.2.1. Les risques chimiques.....	64
6.5.2.2. Les risques microbiologiques.....	65
6.5.2.3. Les risques environnementaux : protection des ressources en eau.....	65
6.5.3.. Risque sur la vie aquatique.....	66
6.5.4. Valorisation et risques d'utilisation des boues de la station d'El Allélick, Annaba.	66
6.6 Conclusion.....	67

**Chapitre 6. Analyse statistique des données physico-chimiques des eaux usées brutes (entrée) et épurées (sortie) dans la station d'épuration d'El-Allélick, Annaba (période Juin 2015 et Mai 2016).**

6.1. Traitement des <i>données</i> .....	70
6. 2. Statistiques élémentaires.....	70
6.3. Analyse en composantes principales (ACP).....	71
6.3.1. Juin 2015 : eaux usées entrées à la station.....	71
6.3.1.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.....	72
6.3.1.2. Cercle des corrélations et projection des individus.....	72
6.3.2. Juin 2015 : eaux usées épurés (sortie) de la station d'El Allélick,Annaba.....	74
6.3.2.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.....	74
6.3.2.2. Cercle des corrélations et projection des individus.....	75
6.3.3. Mai 2016 : eaux usées (entrée) de la station d'El Allélick, Annaba.....	76
6.3.3.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.....	78
6.3.3.2. Cercle des corrélations et projection des individus.....	79
6.3.4. Mai 2016 : eaux usées (sortie) de la station d'El Allélick, Annaba.....	81
6.3.4.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.....	81
6.3.4.2. Cercle des corrélations et projection des individus.....	82
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>85</b>

**Références Bibliographiques**

**Annexe**



## Liste des figures

	<b>Page</b>
<b>Figure n°1.</b> Carte de situation géographique de la région d'étude.....	5
<b>Figure n°2.</b> Évolution de la population (2010).....	8
<b>Figure n°3.</b> Évolution de la densité de la population (2010).....	9
<b>Figure n° 4.</b> Graphique d'Annaba Dotation journalière par commune (I/hab/J).....	9
<b>Figure n°5.</b> Situation géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja (D'après STROJEXPORT, 1975, modifiée par A. HANI 2002).....	17
<b>Figure n°6.</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des salines (Période 1980-2015) .....	24
<b>Figure n°7.</b> Diagramme du coefficient pluviométrique dans la station des Salines.(Période 1980-2015).....	26
<b>Figure n°8.</b> Températures moyennes mensuelles de la station des Salines (Période 1980-2015).....	27
<b>Figure n°9.</b> Digramme Ombrothermique de la Station des Salines (Période 1980-2015).....	28
<b>Figure n°10.</b> Représentation graphique du bilan de THORNTHWAITE : Station des Salines (Période 1980-2015).....	32
<b>Figure n°11.</b> Station d'épuration des eaux usées d'El Allélick, Annaba.....	37
<b>Figure n° 12.</b> Dégrillage (STEP Annaba).....	38
<b>Figure n° 13.</b> Dessablage – Déshuilage (STEP Annaba).....	39
<b>Figure n° 14.</b> Décanteur primaire (STEP Annaba).....	40
<b>Figure n° 15.</b> Amont décanteur (STEP Annaba).....	40
<b>Figure n°16.</b> Bassin de Relevage intermédiaire (Station d'El-Allélick, Annaba).....	42
<b>Figure n° 17.</b> Bassin de traitement biologique (STEP Annaba).....	42
<b>Figure n°18.</b> Dégazeur (STEP Annaba).....	43
<b>Figure n°19.</b> Clarificateur (STEP Annaba).....	44
<b>Figure n° 20.</b> Epaisseur primaire (STEP Annaba).....	45
<b>Figure n°21.</b> Bassin d'Epaisseur des Boues Biologiques (Station d'El-Allélick, Annaba).....	45
<b>Figure n° 22.</b> Bâche à Boues Stabilisées. (STEP Annaba).....	46
<b>Figure n° 23.</b> Déshydratation des boues (Station d'El-Allélick, Annaba).....	46

<b>Figure n° 24.</b> Stockage de boues au sol (Station d'El-Allélick, Annaba).....	47
<b>Figure n°25.</b> Histogramme des variations de la boue déshydratée durant les mois Janvier, Février et Mars 2013 dans la station d'EL Allélick.....	62
<b>Figure n° 26.</b> Histogramme des variations de la boue déshydratée durant les mois Avril, Mai et Juin 2013 dans la station d'EL- Allélick .....	62
<b>Figure n°27.</b> Histogramme des variations de la boue déshydratée durant les mois Juillet, Aout et Septembre 2013 dans la station d'EL Allélick.....	63
<b>Figure n°28.</b> Histogramme des variations de la boue déshydratée durant les mois Octobre, Novembre et Décembre 2013 dans la station d'EL Allélick.....	63
<b>Figure n° 29.</b> Valeurs Propres des facteurs de Charge.....	72
<b>Figure n°30.</b> Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1 F2 des eaux usées brutes (entrées) à la station (Période Juin 2015).....	73
<b>Figure n° 31.</b> Valeurs Propres des facteurs de Charge.....	75
<b>Figure n° 32.</b> Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1 F2 des eaux usées épurés (Sortie) de la station Juin 2015.....	76
<b>Figure n° 33.</b> Valeurs Propres des facteurs de Charge.....	79
<b>Figure n°34.</b> Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1-F2 des eaux usées (entrée) à la station d'El Allélick, Annaba (Période Mai 2016).....	80
<b>Figure n°35.</b> Valeurs Propres des facteurs de Charge.....	82
<b>Figure n°36.</b> Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1- F2 des eaux usées (sortie) de la station d'El Allélick, Annaba (Période Mai 2016).....	84

## Liste des tableaux

	<b>Page</b>
<b>Tableau n°1.</b> Population d'Annaba par commune. ....	8
<b>Tableau n°2.</b> Densité de la population d'Annaba par commune (hab/Km <sup>2</sup> ).....	8
<b>Tableau n°3.</b> Dotation journalière par commune (I/hab/J) (DHW).....	9
<b>Tableau n°4:</b> Coordonnées de la station météorologique des Salines (période 1980-2015)...	23
<b>Tableau n°5.</b> Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station des Salines (Période 1980-2015).....	24
<b>Tableau n°6.</b> Coefficient pluviométrique et observations dans la station des Salines (Période 1980-2015).....	(25-26)
<b>Tableau n°7.</b> Températures moyennes mensuelles en (°C) à la station des Salines (Période 1980 – 2015).....	27
<b>Tableau n° 8.</b> Résultats de l'ETR obtenus par la formule de « TURC » Station Les Salines (Période 1980-2015).....	30
<b>Tableau n°9.</b> Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station Salines (Période 1980-2015).....	31
<b>Tableau n° 10.</b> Valeurs de l'infiltration efficace I <sub>e</sub> (mm) et du ruissellement R (mm), stations des Salines (Période 1980-2015).....	33
<b>Tableau n° 11.</b> Paramètres physico-chimiques (période 2015-2016).....	50
<b>Tableau n° 12.</b> Des paramètres microbiologiques.....	53
<b>Tableau n° 13.</b> Des métaux lourds.....	54
<b>Tableau n° 14.</b> Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes de la station El -Allélick (Période Juin 2015).....	70
<b>Tableau n°15.</b> Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées (Juin 2015).....	71
<b>Tableau n° 16.</b> Matrice de corrélation des éléments physicochimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées entrées à la station (Période Juin 2015).....	71
<b>Tableau n°17.</b> Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées entrées dans la station (Période Juin 2015).....	72
<b>Tableau n° 18.</b> Matrice de corrélation des éléments physicochimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées Sortie de la station (Période Juin 2015).....	74

<b>Tableau n° 19.</b> Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées Sorties dans la station (Période Juin 2015).....	74
<b>Tableau n° 20.</b> Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes de la station El -Allélick (Période Juin 2016).....	77
<b>Tableau n°21.</b> Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées (Mai 2016).....	77
<b>Tableau n°22.</b> Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées (entrée), station d'El Allélick, Annaba. (Période Mai 2016).....	78
<b>Tableau n° 23.</b> Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées (entrée) dans la station d'El Allélick, Annaba, (Période Mai 2016).....	79
<b>Tableau n°24.</b> Matrice de corrélation des éléments physico chimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées (sortie) (Période Mai 2016).....	81
<b>Tableau n°25.</b> Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées (sortie) dans la station d'El Allélick (Période Mai 2016).....	82

---

## Introduction

L'eau est à l'origine de la vie sur terre. Elle est indispensable à notre corps humain et à tout ce qui nous entoure. Ce besoin vital est "domestiqué" dans les pays développés. Il est devenu un confort indispensable dans la vie de tous les jours.

La consommation excessive d'eau et les mauvaises façons de l'utiliser causent la rareté. Cette pénurie est très préjudiciable aux humains et à tous les organismes vivant en raison du changement climatique et du manque des précipitations ces derniers temps, qui ont endommagé la végétation et les plantes agricoles. C'est pourquoi les agriculteurs ont trouvé une solution sûre et facile en particulier pour l'arrosage des plantes en cas de pluie, c'est les eaux usées épurées.

En Algérie, la croissance démographique urbaine et la consommation individuelle en eau ont entraîné une importante augmentation du volume des rejets des eaux usées. Ces rejets risquent de conduire à une dégradation profonde des ressources en eau et c'est l'un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement dont est responsable la civilisation contemporaine. Un traitement approprié des eaux usées avant leurs rejets est plus que nécessaire.

La maîtrise de l'eau est devenue aujourd'hui une science qui permet de développer, de diversifier et de régulariser en valorisant au mieux le potentiel des terres et des ressources en eau. Certaines régions connaissant un déficit en ressources hydriques qui doit être compensé par la récupération et la réutilisation des eaux usées.

Le traitement des eaux usées est l'ensemble des procédés visant à dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel ou sa réutilisation. Les eaux usées sont les eaux qui à la suite de leur utilisation domestique, commerciale ou industrielle sont de nature à polluer les milieux dans lesquels elles seraient déversées. C'est pourquoi, dans un souci de protection des milieux récepteurs, des traitements sont réalisés sur ces effluents collectés par le réseau d'assainissement urbain. L'objectif des traitements est de réduire l'impact des eaux usées sur l'environnement. Les eaux traitées sont parfois réutilisées. On parle de recyclage des eaux usées.

A Annaba, la demande en eau épurée augmente rapidement dans les secteurs de l'agriculture et l'industrie et les responsables de la commune encouragent l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture et l'industrie.

---

Le but de notre travail est d'étudier d'une part l'épuration des eaux usées pour la protection de l'environnement et d'autre part, traiter suffisamment ces eaux usées pour leur réutilisation. Cette réutilisation exige, toutefois, la maîtrise des problèmes relatifs à la santé publique et à l'environnement.

L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation est soumise au régime de la concession. Ce dernier est tenu d'une part d'assurer une exploitation rationnelle des eaux usées épurées et d'autre part de vérifier que la qualité de ces eaux distribuées aux usagers est conforme à la réglementation en vigueur. Le concessionnaire doit aviser les exploitants agricoles ainsi que leurs employés qui sont en contact direct avec les eaux usées traitées, des risques que présentent ces eaux pour leur santé. Il doit également les informer sur l'aspect technique, environnemental et sanitaire.

En Algérie, l'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Vu la diminution des apports en eau constatée, les agriculteurs s'intéressent à la réutilisation des eaux usées traitées. Et c'est ainsi que des normes de qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ont été établies afin de protéger l'agriculteur, le consommateur des produits agricoles, les ressources en eau ainsi que les sols.

Il est bien entendu que le danger est une propriété intrinsèque d'une substance, d'un agent ou d'une situation qui peut provoquer des dommages pour les personnes, des biens et de l'environnement.

Le présent travail est structuré en six chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la monographie de la zone d'étude, en présentant les caractéristiques physiques, géographiques, géomorphologiques, un contexte socio-économiques et un réseau hydrographique.
- Le deuxième chapitre est présenté par les caractéristiques géologiques et Hydrogéologiques de la région d'étude.
- Le troisième chapitre traite les données climatiques de la région comprenant les différents paramètres et éléments (température, précipitation, évapotranspiration réelle et potentielle, RFU, ruissellement, infiltration, déficit, excédent) régissant les variations climatiques.

- 
- Le quatrième chapitre présente la station d'épuration des eaux usées d'el Allélick, Annaba où les procédés et les étapes de fonctionnement des ouvrages sont décrits.
  - Le cinquième chapitre concerne l'Optimisation, le traitement des eaux usées épurées et l'impact de leur réutilisation dans l'environnement comprenant une caractérisation physico-chimique des eaux usées avant et après traitement (périodes Juin 2015 et Mai 2016), une étude microbiologique et toxicologique (métaux lourds). Ce chapitre comporte aussi une analyse des Boues biologiques.
  - Le sixième chapitre présente l'analyse statistique des données physico-chimiques des eaux usées brutes (entrée) et épurées (sortie) dans la station d'épuration d'El Allélick, Annaba (période Juin 2015 et Mai 2016). (ACP).
  - Et à l'issue des conclusions de cette étude, des recommandations seront proposées.



## 1.2. Géomorphologie.

La vallée de la Seybouse présente le long de son cours des terrasses alluviales étagées à des côtes diverses allant jusqu'à 150 m et des longueurs variant de 1 à 2 Kms. Cette tectonique est survenu au cours des temps géologiques.

Les principales unités géomorphologiques qu'on pouvait distinguer sont :

### ➤ Les terrasses.

Représentées par trois unités bien distinctes :

- Les Hautes terrasses : situées à des altitudes comprises entre 100 à 150 m. Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables (ne présentant pas un intérêt hydrogéologique) localisées surtout entre Dréan et Ain-Berda.- Les Moyennes terrasses : situées à des altitudes variant de 20 à 50 m. Ce sont des formations caillouteuses à la base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et surtout d'argiles sableuses (faible intérêt aquifère), localisées dans la région de Dréan.

- Les Basses terrasses : situées à une altitude moyenne de 15 m. Elles sont formées par des dépôts alluvionnaires constitués d'un matériels argilo-limoneux avec des galets, graviers et sable. Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines.

### ➤ Le cordon dunaire.

Situé parallèlement à la mer Méditerranée, il est constitué essentiellement de sables fins, rouges et blancs à grains plus au moins arrondis.

### ➤ Les marécages.

Couvrent **environ** une superficie de 4.786 ha et sont constitués par des formations argileuses à argilo-sableuses, imperméables à faible perméabilité. Ils sont localisés dans les dépressions des basses terrasses et couvrent la limite Est de la plaine de Annaba.

### ➤ Les plages.

Ce sont des formations géomorphologiques les plus récentes constituées principalement de sables riches en quartz.

## 1.3. Activités socio-économiques.

Au début des années 1970, la wilaya d'Annaba avait connu un essor industriel impressionnant, cette situation à générer un exode rural massif, en effet l'offre de poste de travail a fait que beaucoup de citoyens sont venus s'installer dans cette wilaya. Par ailleurs le dernier découpage administratif a fait de la wilaya de Annaba, l'une des plus petite d'Algérie

---

car s'étendant sur une superficie de 1425 km<sup>2</sup> environ et compte douze (12) communes (Annaba, Séraïdi, El Bouni, El Hadjar, Sidi Amar, Ain Berda, El Eulma, Cheurfa, Berrahal, Tréat, Oued El Aneb et Chétaïbi).

La région d'étude est donc connue par son activité agricole et industrielle. L'agriculture est observée sur l'ensemble de la vallée avec une très grande variété de cultures : céréales, tomates, pomme de terre et agrumes. On note aussi l'importance de l'élevage de bétails et de volailles.

L'activité industrielle est représentée par plusieurs unités industrielles :

- L'industrie lourde avec le complexe SIDER (Société Nationale de Sidérurgie),
- L'industrie chimique avec le complexe FERTIAL produisant des engrais, du phosphate et de l'azote.
- L'industrie agro-alimentaire représentée par les conserveries.

L'ensemble des rejets industriels se font directement dans l'Oued Seybouse à l'exception de ceux de l'usine FERTIAL qui sont déversés au niveau de la mer Méditerranée.

La promotion du milieu rural et l'autosuffisance alimentaire sont les deux objectifs fondamentaux de la nouvelle politique agricole. Sur les 58.548 hectares de superficies agricoles totales existantes, 48.177 hectares sont équipées et irriguées et se localisent le long des cours d'eaux principaux qui drainent la région.

Notons que l'ensemble des terres agricoles consomme un volume d'eau annuel de l'ordre de 7 Hm<sup>3</sup>/an soit 8% de la consommation totale.

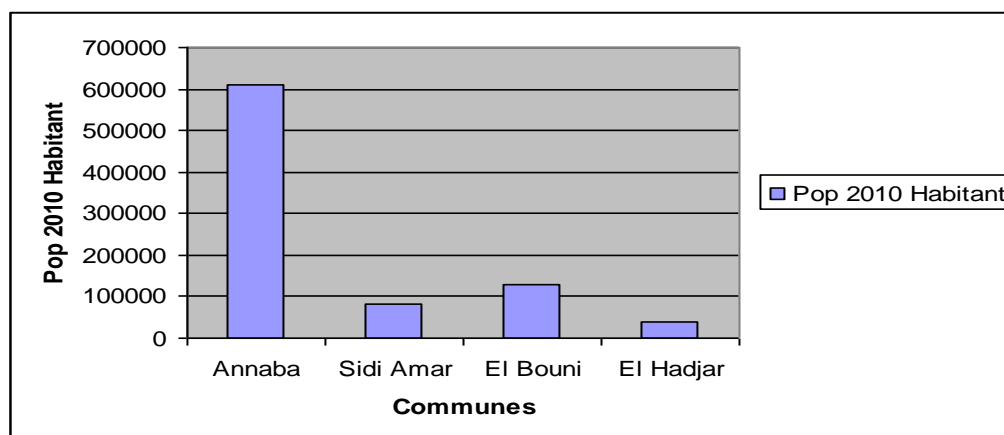
Les dernières statistiques réalisées à l'échelle nationale, révèlent que depuis 1977 la wilaya d'Annaba se caractérise, par des taux d'accroissement globaux annuels moyens nettement supérieurs à la moyenne nationale (0,10% au dernier R.G.P.H 2008).

La part relative de la population de cette région est de 7,7% dans la région Nord Est, soit 1,2% du territoire national.

L'évolution de la population d'Annaba (**tableau n°1**) à travers les différents recensements (1966, 1977, 1987, 1998 et 2010) a été très perturbée par les découpages administratifs de 1974 et 1984 (**figure n°2**).

**Tableau n° 1. Population d'Annaba par commune.**

Commune	Population 2010
<b>Annaba</b>	<b>610000</b>
<b>Sidi Amar</b>	<b>80292</b>
<b>El Bouni</b>	<b>130568</b>
<b>El Hadjar</b>	<b>38436</b>

**Figure n° 2. Evolution de la population (2010).**

La densité de la population est l'un des indicateurs les plus pertinents dans les études de développement, elle explique l'orientation des politiques à suivre dans une région.

Annaba est marquée par une densité mal répartie, de ce fait, la relation superficie population n'est pas mise en évidence c'est beaucoup plus le chef-lieu lieu de wilaya et quelques communes qui résorbent l'ensemble de la population comme indiqué dans le **tableau n°2** suivant :

**Tableau n° 2. Densité de la population d'Annaba par commune (hab/Km<sup>2</sup>).**

Commune	Densité 2010
<b>Annaba</b>	<b>12357</b>
<b>Sidi Amar</b>	<b>4895</b>
<b>El Bouni</b>	<b>3585</b>
<b>El Hadjar</b>	<b>1583</b>

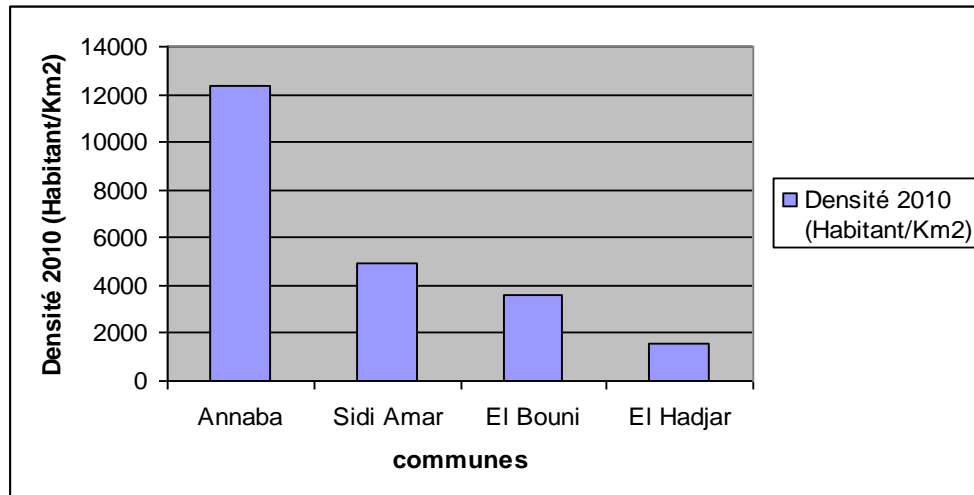


Figure n°3. Evolution de la densité de la population (2010).

La dotation en eau potable (**tableau n°3**) peut constituer un indicateur du développement socio-économique, car plus la population est rattachée au réseau d'AEP, plus le signe du développement devient important, c'est pourquoi cet éléments est pris en considération (**figure n°4**).

Tableau n° 3. Dotation journalière par commune (l/hab/J) (DHW).

Commune	Dotation (l/hab/J)
Annaba	150
Sidi Amar	100
El Bouni	110
El Hadjar	120

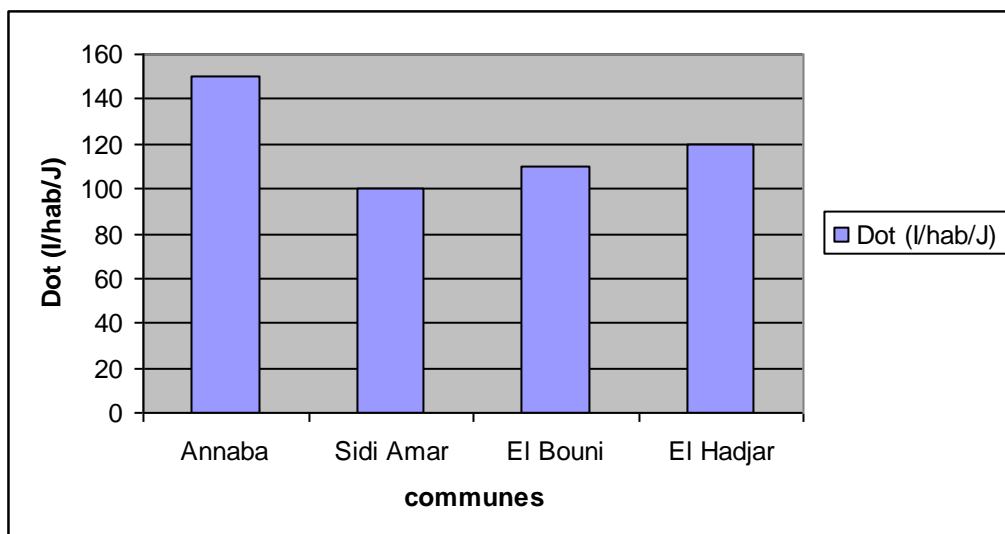


Figure n° 4. Graphique d'Annaba : Dotation journalière par commune (l/hab/J).

## 1.4. Généralités sur l'environnement et l'Agriculture

- **Propriétés de l'eau** : l'eau est capable de dissoudre la plupart des substances chimiques, minérales et organique. Elle met en suspension les matières insolubles et les déchets solides à l'opposé, les gaz, entre autre l'oxygène, y sont peu solubles. (Ramade, 1990).

- **Ressources** : La ressource en eau d'un lieu est généralement constituée d'une masse superficielle et d'une masse profonde, les deux étant en relation entre elles et avec l'eau atmosphérique. Elle est liée au climat à la topographie ainsi qu'aux conditions hydrographiques (Negie, 1990) En réalité, l'eau est une denrée rare et représente l'une des ressources les plus mal réparties à la surface du globe (Jones, 1990 et Ramade, 1990).

- **La pollution** : l'eau n'est pas une ressource inépuisable et même lorsque son usage ne se traduit pas par une consommation nette qui l'a fait disparaître de son cycle hydrologique local naturel, elle est très souvent restituée sans une forme plus ou moins dégradée. La pollution des eaux se traduit par des effets très spécifiques et constitue un facteur de la diminution de la disponibilité de cette ressource (Ramade, 1990).

- **Les eaux usées** : les eaux résiduaires d'une communauté ou d'une industrie rejetées après usage, sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et devenues impropres à d'autres utilisations de qualité. Les eaux usées, étant polluées par l'usage qui en a été fait, ne doivent pas être rejetées en masse dans le milieu naturel avant d'avoir été traitées en vue de l'élimination des polluants indésirables par passage dans une station d'épuration (STEP).

- **Caractéristique d'une eau usée** :

Eau usée = Eau + Pollution.

Trois grandes classes de pollution : soluble, colloïdale et particulaire.

### 1.4.1. L'agriculture.

#### 1.4.1.1. Evolution.

L'agriculture est l'un des processus de production le plus ancien qu'ait été maîtrisé par l'homme (Sebillote, 1990b). Ce dernier cherche à améliorer ses techniques de production agricole. Cette évolution lente d'abord c'est considérablement accélérée depuis la seconde guerre mondiale. (Corpen, 1990, Sebillote, 1990b). Pour maintenir leur pouvoir d'achat, les

---

agriculteurs ont donc visé la productivité (Bonhoure, 1986), ce qui a été permis par l'utilisation généralisée des engrais et pesticides.

#### **1.4.1.2. Effets sur l'environnement.**

L'agriculture est une activité économique à risque mais nécessaire pour la conservation des territoires (Jaune, 1990). Elle avait deux grandes missions, d'abord, une mission de gestion des patrimoines (sols et eaux) et ensuite, une mission de productivité alimentaire et non alimentaire.

### **1.4.2. Réseau et système d'évacuation des eaux usées de la ville d'Annaba.**

#### **1.4.2.1. Les systèmes d'évacuation.**

Les systèmes d'évacuation des eaux usées sont de trois types : système unitaire, système séparatif et système modifié.

##### **Le système unitaire.**

C'est l'ensemble des eaux usées et pluviales évacués par un réseau unique, généralement équipé de déversoirs d'orage, vannages, etc. permettant, en cas de pluies intenses, le rejet par surverse d'une partie des eaux, dirigées par un évacuateur vers le milieu naturel soit directement soit après traitement spécifique.

##### **Le système séparatif.**

C'est le système d'évacuation qui consiste à affecter un réseau à l'évacuation des eaux usées domestiques et, avec des réserves, certains effluents industriels, alors que l'évacuation de toutes les eaux pluviales est assurée par un autre réseau.

##### **Le Système modifié.**

C'est un système d'assainissement composé normalement de deux réseaux de canalisations pour l'évacuation des eaux mixtes et pluviales. Les eaux pluviales des toitures sont évacuées avec les eaux mixtes.

#### **1.4.2.2. Les réseaux d'eaux usées de la ville d'Annaba.**

Il est divisé en trois secteurs géographiques dominants :

##### **Le secteur Nord.**

Où toutes les eaux usées sont acheminées vers la station de relevage n°04 située à la limite Sud de la plage Rizzi Amor. Ces eaux sont refoulées vers le secteur central en période estivale et vers la mer en période hivernale. Dans ce secteur le réseau est à prédominance séparatif et un système d'assainissement de la corniche Nord de la ville vient d'être réalisé et

---

connecté à la station de relevage n°04. Ce dernier système d'assainissement est composé de 9985 ml de collecteurs en DN 300 et 500 mm, de 5342 ml de conduites de refoulement en DN 200 et 250 mm ainsi de 06 stations de pompage.

La station 2301-SR04 appelé «Rizi Amor» est située au Nord-Est de l'agglomération de la ville d'Annaba en bord de mer, à l'extrémité Sud de la plage de Rizi Amor. Elle reçoit de manière gravitaire les effluents des quartiers de Sidi Aissa, Oued Kouba, Patrice Lumumba et Saint Thérèse, ainsi que ce provenant des stations de refoulement de Ras El Hamra, Ain Achir, Belvédère, Toche et la Caroube au Nord, et la station en Nasr au Sud.

Les effluents sont dirigés vers le regard GDD-R38 du collecteur GDD, situé dans le bassin versant de la station SP2. Le reste du temps, le rejet se fait dans la mer, juste derrière la station.

### **Le secteur central.**

Correspondant à l'ancien tissu urbain de la ville est doté d'un réseau unitaire qui collecte les eaux usées. Ces eaux sont acheminées vers la station de pompage n°02. Dans ce secteur, une grande partie du réseau est composée d'anciens caniveaux en maçonnerie qui sont souvent l'objet de débordements d'eaux usées sur la voie publique. À partir de la station de pompage n°02, les eaux usées sont refoulées vers la station de pompage n°02 (central Sidi Brahim) et les eaux pluviales sont dirigées vers la mer.

La station 2301-SR02 «Sidi Brahim» : la station de pompage SP1, dite «Sidi Brahim», a pour objet de récupérer et évacuer les effluents provenant des parties Ouest et Sud de l'agglomération d'Annaba. Le réseau d'assainissement de ce bassin versant est en théorie essentiellement de type séparatif. Elle est située à environ 400 m au Sud-Est du grand rond-point de Sidi Brahim.

Cette station comprend deux bâches de pompage, l'une censée récupérer les eaux usées, et l'autre les eaux pluviales. La bache eaux usées est équipée de 4 pompes en calle sèche, et la bache eaux pluviales de 8 pompes immergées. Les eaux usées sont évacuées vers le site de traitement des Salines, et les eaux pluviales vers la mer.

En ce qui concerne la bache des eaux usées, la station SP1 reçoit :

- Les effluents des quartiers Tabacoop/Cardozo et de la cité du 8 Mai 1945 de la ville d'Annaba de manière gravitaire,
- Ceux des quartiers Saf Saf 1 et Saf Saf 2 sont refoulés dans son réseau par les stations de pompage dénommées respectivement «Plaine Ouest 1» et «Plaine Ouest 2».

- Et enfin les effluents refoulés à partir de la bêche d'eaux usées de la station de pompage SP7 «Bouzered Hocine» qui dessert les quartiers Didouche Mourad, 11 Décembre, Oued Edheb, ainsi qu'une partie de la cité Sidi Brahim.

### **Le secteur Sud et Ouest.**

Est composé de la cité 8 Mai – 11 Décembre – la cité dite Plaine Ouest et la cité Seybouse. Les réseaux de ce secteur sont en système séparatif, les eaux usées devant aboutir à la station de pompage n°01 et les eaux pluviales vers le canal de ceinture pour le cas de la cité Seybouse. À partir de la station de pompage n°01, les eaux usées sont refoulées vers les lagunes des Salines et les eaux pluviales vers la mer.

La station 2301-SR13 «Plaine Ouest 1» : cette station de pompage 2301-SR13 «Plaine Ouest 1» également dénommée «8 mars 1», est située à l'Est de l'agglomération d'Annaba, en rive droite de canal de ceinture. Elle reçoit de manière gravitaire des effluents provenant des quartiers Saf Saf 1, Sidi Harb et Bélaid Belgacem.

Les effluents pompés sont dirigés de l'autre côté du Canal de Ceinture, vers le regard n°T-R22, tête de réseau au collecteur T, qui aboutit à la station 2301-SR01 «Sidi Brahim». Ces effluents sont en théorie des eaux usées, le réseau d'assainissement de cette zone étant de type séparatif. Cependant, toutes les eaux usées collectées n'aboutissent pas à la station de pompage : il existe de nombreux rejets direct dans le canal de ceinture et dans l'Oued Forcha, provenant soit des collecteurs d'eaux usées non raccordés, soit des collecteurs en principe pluviaux, mais qui véhiculent manifestement une certaine quantité d'eau usées.

### **1.4.3. Réseau d'assainissement de la commune d'EL Bouni.**

Cette agglomération est dotée d'un système d'assainissement mixte qui se rejette dans l'Oued Seybouse par le biais de collecteur DN 800 mm. Ce réseau a été réalisé par tranches loin d'être homogène en raison de l'absence d'une étude d'assainissement global.

Le réseau d'assainissement de Boukhadra : cette agglomération est assainie par un réseau d'assainissement mixte qui refoule les eaux usées dans le canal de ceinture par le biais d'une station de relevage en mauvaise état.

Le réseau d'assainissement de Sidi Salem : le réseau de cette cité est théoriquement séparatif. Les eaux usées sont collectées et refoulées par 03 petites stations de relevage et raccordées à la conduite de refoulement des lagunes (Les Salines).

## 1.5. Réseau hydrographique.

La région d'étude est parcourue par deux oueds d'inégale importance :

- Oued Seybouse.
- Oued Méboudja.

### 1.5.1. L'Oued Seybouse.

C'est le deuxième Oued en Algérie après l'Oued Chelif, il draine un vaste bassin versant d'une superficie 6471 km<sup>2</sup> avec un débit annuel de 441 millions de m<sup>3</sup>. Depuis les hautes plaines de Sellaoua et de Heracta, l'oued Seybouse s'écoule dans une vallée de direction sud-nord. Il résulte de la confluence de l'oued Charef et l'Oued Bouhamdane dans la région de Guelma, passant par Chihani et la plaine d'Annaba où l'écoulement devient régulier et lent et recevant l'Oued Méboudja avant de se jeter finalement dans la Méditerranée. On note que l'oued Bouhamdane n'alimente plus l'oued Seybouse car il a été capté pour construire le barrage Bouhamdane. Ceci a eu pour effet la baisse des débits de l'oued et par conséquent une dégradation de la qualité des eaux due aux divers apports.

### 1.5.2. L'Oued Méboudja.

Le dernier affluent de l'oued Seybouse, qui constitue le collecteur des eaux du lac Fetzara et draine une superficie de 203 km<sup>2</sup> avec un faible débit par rapport à celui de l'oued Seybouse. Il présente une crue quinquennale de 20 m<sup>3</sup>/s due au mauvais drainage au sud du complexe sidérurgique (Arcelor Mittal-Algérie), et il reçoit l'Oued Taieb et l'Oued Rassoul avant de rejoindre l'Oued Seybouse à environ 8 km de l'embouchure.

## 1.6. Conclusion.

Plus la population s'accroît, plus la dotation en eau potable devient importante, donc plus de rejets d'eaux usées, obligatoirement la pollution s'accroît aussi et aura un impact sur l'environnement.

L'étude géomorphologie nous a permis de distinguer trois formes morphologiques :

- Les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée du Djebel Edough au Nord et les massifs de Béliliéta au Sud Ouest et Bouhamra au Sud.
- Le cordon dunaire d'origine éolienne et marine qui longe la mer du Nord Ouest au Sud-Est depuis la cité Seybouse à l'Ouest et El-Kala à l'Est.

---

- La petite plaine d'Annaba qui s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel l'Edough et les terminaisons du Boukantas et du Bouhamra.

Le réseau hydrographique est caractérisé par deux Oueds principaux qui constituent les sous bassins de la région d'étude : le sous bassin versant de l'Oued Seybouse et l'Oued Méboudja.

## Chapitre 2. Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région d'étude

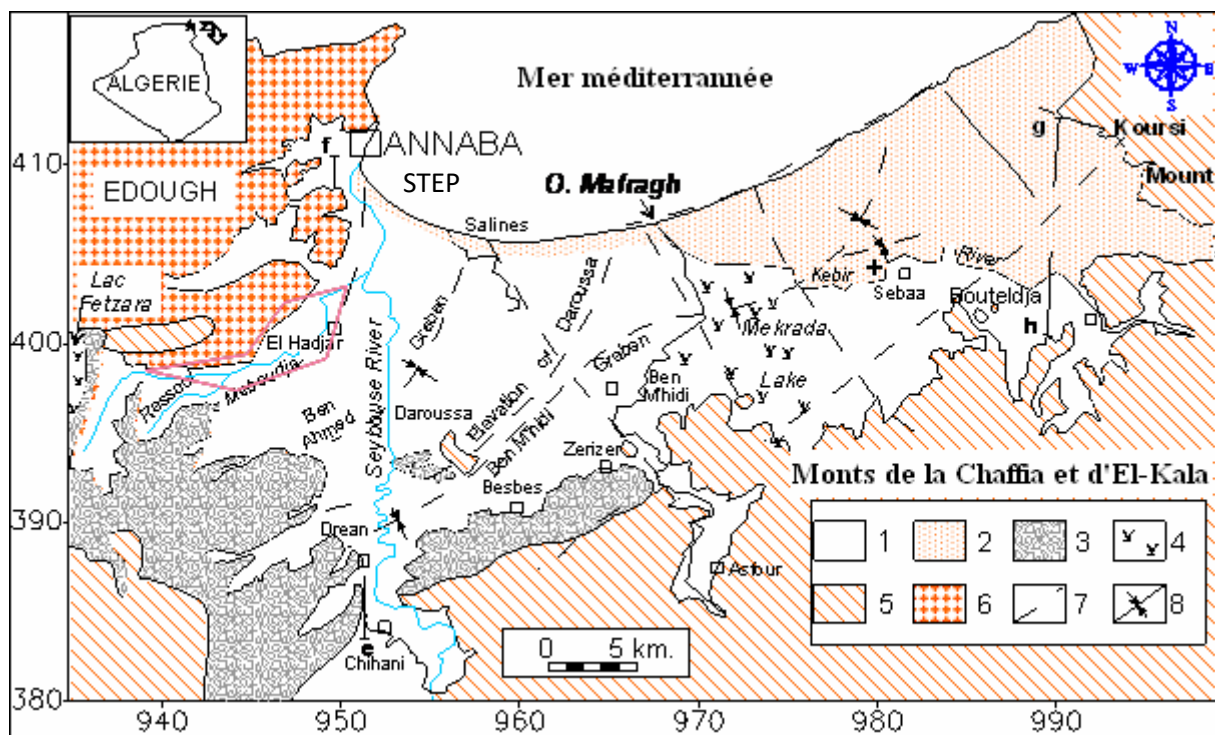
### 2.1. Introduction.

La région d'étude a fait l'objet de plusieurs études géologiques, les plus récentes sont celles de J.M Vila (1980). Ces études ont montré la présence de deux types de terrains : l'un Métamorphique, l'autre sédimentaire.

Les terrains sédimentaires occupent la majeure partie de la plaine. Le domaine métamorphique se situe à l'Ouest de Annaba (Edough) et au Sud celui des grés numidiens (les Monts de la Cheffia). Le sédimentaire affleure dans la partie restante de la plaine, particulièrement sur les berges des Oueds Seybouse et Bounamoussa.

### 2.2. Stratigraphie.

Selon la chronologie stratigraphique, la région d'étude révèle des terrains géologiques d'âges différents allant du primaire au quaternaire récent, renferment à la fois des formations métamorphiques et sédimentaires (figure n°5).



**Figure n° 5. Situation géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja (D'après STROJEXPORT, 1975, modifiée par A. HANI 2002).**

**Légende :** 1 : Alluvions récentes et actuelles; 2 : Dunes; 3 : Alluvions anciennes; 4 : Marécage ou lac; 5 : Grés et argile numidiens; 6 : Formations métamorphiques; 7 : Faille ; 8 : Axe des fosses.

### 2.2.1. Les formations métamorphiques.

Ces formations sont développées à l'Ouest de la région (Massif de l'Edough, Bouhamra et Belliliéta) et affleurent en forme d'anticlinal orienté NE-SW (J.M.Vila, 1980). On y distingue trois séries bien distinctes :

- Série inférieure (ou de base) : Constitué essentiellement de gneiss riches en biotite ; cette formation constitue le cœur de l'anticlinal du massif de l'Edough.
- Série intermédiaire : Caractérisée par des schistes et des micaschistes, riches en biotite, muscovite et grenat parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'œil nu. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de Skarnes. Cette série est abondamment localisée dans les zones périphériques de l'Edough.
- Série supérieure : Constituée par un ensemble de gneiss oillés, schistes, micaschistes, grenats et amphibolites.

Elle se localise principalement au NE du Massif (dans la région côtière).

Du point de vue hydrogéologique, ces trois séries présentent peu d'intérêt sauf pour les gneiss altérés ou les cipolins fissurés qui peuvent constituer le siège d'une nappe aquifère.

### 2.2.2. Les formations sédimentaires.

#### 2.2.2.1. Le Secondaire.

Ce sont des terrains allochtones représentés par des calcaires à silex du Jurassique et par des Flyschs du Crétacé.

- Le Jurassique : il s'agit de formations calcaires à silex finement détritiques. Localisées au niveau de Mellaha et Bellélieta et datées au Lias-Berriasien (J .M. Vila ,1980).
- Le Crétacé : représenté par des formations Flychoïdes du type Maurétano –Massylien, développées dans les régions d'Ain-Barbar, Chétaïbi et Ain-Berda. Il s'agit essentiellement d'une alternance de microbrèches et de marnes et marno-calcaires dont l'âge va du Barrémien jusqu'au Sénonien voir Eocène.

#### 2.2.2.2. Le Tertiaire.

Présente une épaisseur importante dans la région d'étude avec trois (03) systèmes :

- L'Eocène inférieur : série transgressée formée de calcaires massifs à faciès épinéritiques.

- L'oligocène : comporte des niveaux argilo- gréseux numidiens qui forment le relief des montagnes du sud de la plaine d'une épaisseur de 150 m.

- Le Mio-Pliocène : constitue le remplissage graveleux de sablo- argileux du bassin.

C'est une série continentale argilo-sableuses avec des lits de graviers et galets et des niveaux de travertins très profonds qui constituent le réservoir de la nappe profonde.

### 2.2.2.3. Le Quaternaire.

Représenté par des formations continentales, alluviales, colluviales, éoliennes (sables dunaires) et marines. Les études géologiques sur le Quaternaire de la plaine font apparaître quatre types (L. Joleaud, 1936) :

- Quaternaire ancien : d'âge Sicilien : il est représenté par des formations fluviales sous forme de terrasses de 100 à 150 m d'altitude. Ce sont des formations essentiellement sableuses rencontrées au-dessous de la Seybouse au niveau de la plaine de Dréan et Ben-Mhidi.

- Quaternaire moyen : d'âge Monastirien : Correspondant à la basse terrasse de 20 à 50 m, constitué par des argiles et sables. Il se développe sur toute la région surtout au niveau de la vallée de l'oued Seybouse.

- Quaternaire récent : il correspond à la basse et moyenne terrasse. Il se développe au niveau du cordon dunaire littoral de Annaba et le long de la Seybouse, de l'oued Bounamoussa et l'oued Kébir Est.

La moyenne terrasse, représentée par des formations alluvionnaires de 20 m de part et d'autre de la Seybouse, correspondant également à la terre cultivable (argile, sable).

La basse terrasse, marquée par des limons alluvionnaires du niveau des eaux actuelles de la Seybouse.

- Quaternaire actuel : Formé par les dépôts du lit actuel de l'oued Seybouse. Il est constitué de matériaux argileux, sableux et caillouteux résultants de l'érosion des formations traversées par l'oued.

De cette description géologique succincte, nous constatons que seules les formations de Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituées des réservoirs d'eau importants.

### 2.3. La Tectonique.

La zone d'étude peut être subdivisée en deux unités structurales (J. M. Vila, 1977) :

- Les Monts de Cheffia : ce sont des formations Gréso-argileuses occupant la partie Sud de la région et se présentent comme une ride tectonique marquée par des anticlinaux, parfois faillés à noyaux argileux.

- La plaine d'Annaba qui a subi deux événements tectoniques. Dans un premier temps, durant le Miocène inférieur au Miocène supérieur, les mouvements tectoniques provoquent l'enfoncement progressif des grés numidiens (conséquence de la deuxième phase alpine). Par la suite, un remplissage d'âge Plio-Quaternaire par des matériaux détritiques (Formations continentales) s'est déclenché. Pendant le Miocène inférieur, l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques et à un isolement complet du massif de l'Edough. Ainsi la plaine se trouve au centre d'un bassin limité au Nord par l'anticlinal du Massif de l'Edough et au Sud par un anticlinal principal de la chaîne Numidique. Dans un deuxième temps, à partir du Pliocène et pendant le Quaternaire, un effondrement déclenche des processus de formations et de comblement des deux fosses, celle de Ben Ahmed orientée Nord-Sud et celle de Ben M'Hidi orientée SO-NE, qui sont séparés par un haut fond appelé «Élévation de Darroussa».

### 2.4. La paléogéographie.

Une phase de transgression marine caractérise le Secondaire. La mer envahit une partie du Massif de l'Edough. La présence des calcaires du jurassique affleurant sur le socle confirme le phénomène.

Vers la fin du Crétacé et durant le paléogène se sont déposées des formations Flyschoides schisteuses et gréseuses. Durant le Miocène une importante phase tectonique (phase alpine) a agi sur ces Flyschs, en les charriant sur le socle. Par la suite, de nombreux accidents tectoniques provoquent l'effondrement de la plaine orientale de Massif de l'Edough. Les bassins formés s'approfondissent au cours du Pliocène jusqu'au Quaternaire et se remplissent de formations continentales.

### 2.5. Conclusion.

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Primaire au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : des alluvions (sable, gravier, cailloutis...), des grés, des argiles, des flyschs et des calcaires.

---

La dépression qui forme le réservoir aquifère de la vallée est remplie par des alluvions Plio-quadernaires. Ce remplissage constitue l'ancienne et l'actuelle terrasse de la vallée de la Seybouse.

La naissance de cet édifice est le résultat d'un enchainement de différentes phases tectoniques accompagnées de plusieurs stades de régression et de transgression de la mer qui a affectée la région.

## Chapitre 3. Hydroclimatologie

### 3.1. Introduction.

L'étude hydroclimatologique nécessite des renseignements bien précis des différents facteurs climatiques. Pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface de la région étudiée, il est nécessaire d'établir un bilan hydrique.

L'évaluation de ce bilan exige la connaissance des paramètres suivants : précipitations, **températures**, évapotranspiration et ruissellement. Par ailleurs, l'étude hydro climatologique sera basée sur l'interprétation des données météorologiques enregistrées au niveau d'une seule station : Les Salines.

### 3.2. Climatologie de la zone d'étude

L'observation de la hauteur de la pluie s'est faite sur une période de **35 ans (1980-2015)** pour la température à travers la station **des Salines**, dont les données sont les plus complètes et les plus représentatives de la zone d'étude.

Les coordonnées de cette station météorologique sont consignées dans le **tableau n° 04**

**Tableau n° 04. Coordonnées de la station météorologique des Salines (période 1980-2015).**

Stations	Code	X (Km)	Y (Km)	Longitude (Km)	Latitude (Km)	Altitude (m)	Période
Les Salines	60360	955200	403800	782 E	3683 N	03	1980 – 2015

### 3.3. La pluviométrie.

#### 3.3.1. La pluviométrie moyenne mensuelle.

Les précipitations sont l'élément le plus important dans l'évaluation du bilan hydrologique, parce qu'il reflète la circulation des eaux superficielles et souterraines (**tableau n°05**). De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes.

La région d'étude est parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie. Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitations

sur une période de **35 ans (1980 jusqu'à 2015)**, pour la station des Salines décrite précédemment.

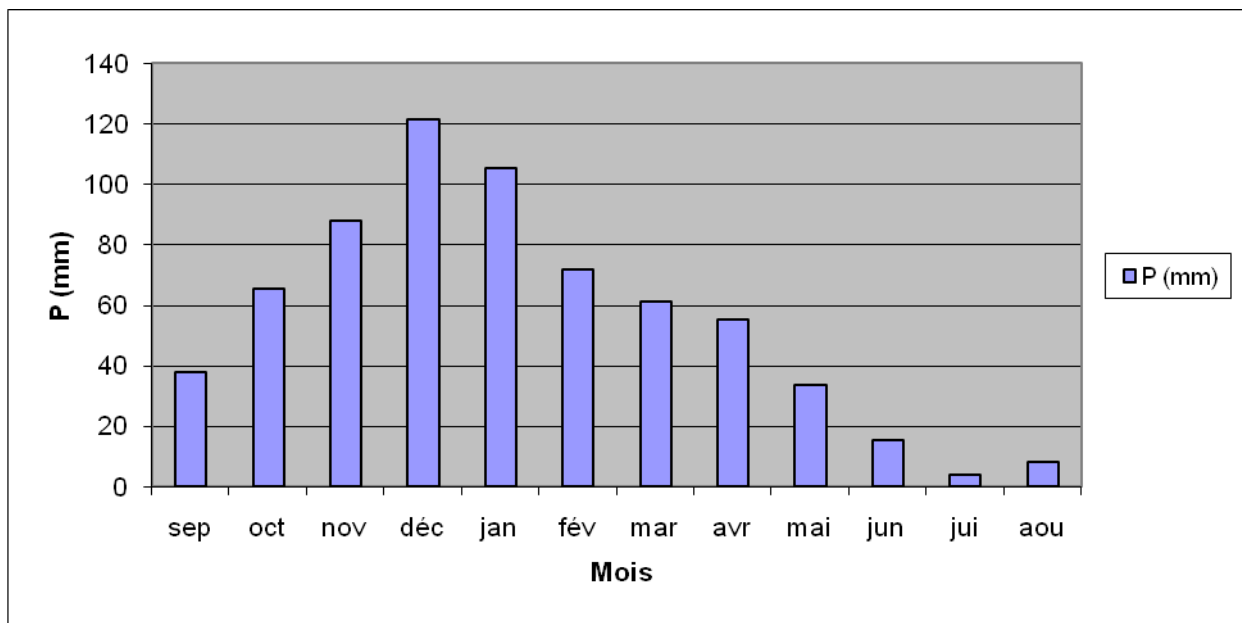
**Tableau n° 05. Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station des Salines (Période 1980-2015).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Moy.
Les Salines	37.92	65.52	87.95	121.35	105.32	71.56	61.25	55.35	33.65	15.25	3.75	8.25	667.12

Les précipitation mensuelles montrent les variations des précipitations d'un mois à l'autre des moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans la station avec un maximum au mois de Décembre (121,35 mm) et un minimum au mois de Juillet (3,75 mm).

### 3.3.2. Histogramme des précipitations mensuelles de la station des Salines (1980-2015).

Pour établir la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi l'histogramme relatif à la station (**figure n°06**) :



**Fig. n° 06. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des salines (Période 1980-2015).**

Les précipitations atteignent le maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 121,35 mm et le minimum au mois de Juillet avec 8,25 mm.

### 3.3.3. Coefficient pluviométrie (CP).

Le coefficient de pluviométrie est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne de la série observée à une station donnée . Dans notre étude la station des Salines.

- Formule :  $CP = P / P_{moy}$

Où : - CP= Coefficient pluviométrie.

- P= Hauteur des pluies annuelles en (mm).

-  $P_{moy}$  = Moyenne annuelle pluviométrique en (mm) = **661.80 mm. (Calculée d'après les données du Tableau n° 06)**

Nous avons deux cas :

Si  $CP > 1$  : on a une année excédentaire.

Si  $CP < 1$  : on a une année déficitaire.

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

**Tableau n° 06. Coefficient pluviométrique et observations dans la station des Salines (Période 1980-2015).**

Année Hydrologique	Les salines	
	Hauteur annuelle de pluie (mm)	CP
1980-1981	632.6	0,96 AD
1981 -1982	731.1	1,10 AE
1982 -1983	612.2	0,93 AD
1983-1984	795.4	1,20 AE
1984-1985	1281.5	1,94 AE
1985-1986	502	0,76 AD
1986-1987	512.5	0,77 AD
1987-1988	503.5	0,76 AD
1988-1989	903.2	1,36 AE
1989-1990	389.5	0,59 AD
1990-1991	614.7	0,93 AD
1991-1992	616.1	0,93 AD
1992-1993	672.6	1,02 AE
1993-1994	468.7	0,71 AD
1994-1995	542.3	0,82 AD

1995-1996	729.6	1,10	AE
1996-1997	396	0,60	AD
1997-1998	810.7	1,22	AE
1998-1999	786.7	1,19	AE
1999-2000	541.2	0,82	AD
2000-2001	524.6	0,79	AD
2001-2002	413.4	0,62	AD
2002-2003	829.8	1,25	AE
2003-2004	619.1	0,94	AD
2004-2005	897.7	1,36	AE
2005-2006	583.3	0,88	AD
2006-2007	631.8	0,95	AE
2007-2008	506.9	0,77	AD
2008-2009	864.10	1,31	AE
2009/2010	697.60	1,05	AE
2010/2011	776.40	1,17	AE
2011/2012	759.80	1,15	AE
2012/2013	648.80	0,98	AD
2013/2014	641.40	0,97	AD
2014-2015	747.20	1,13	AE

D'après les résultats obtenus, il y a une alternance entre les années excédentaires (AE) et celles déficitaires (AD).

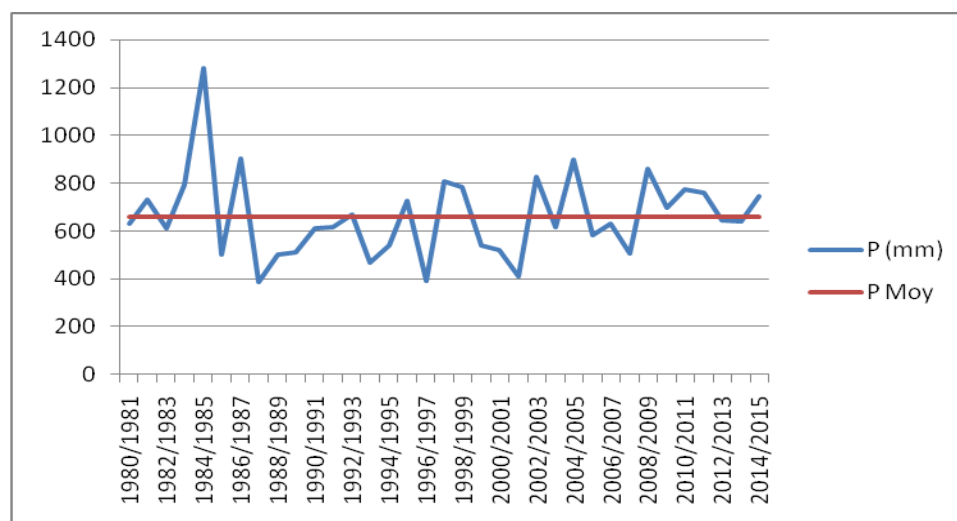


Fig. n° 07. Diagramme du coefficient pluviométrique dans la station des Salines. (Période 1980-2015).

### 3.4. Température.

#### 3.4.1. Température moyenne annuelle.

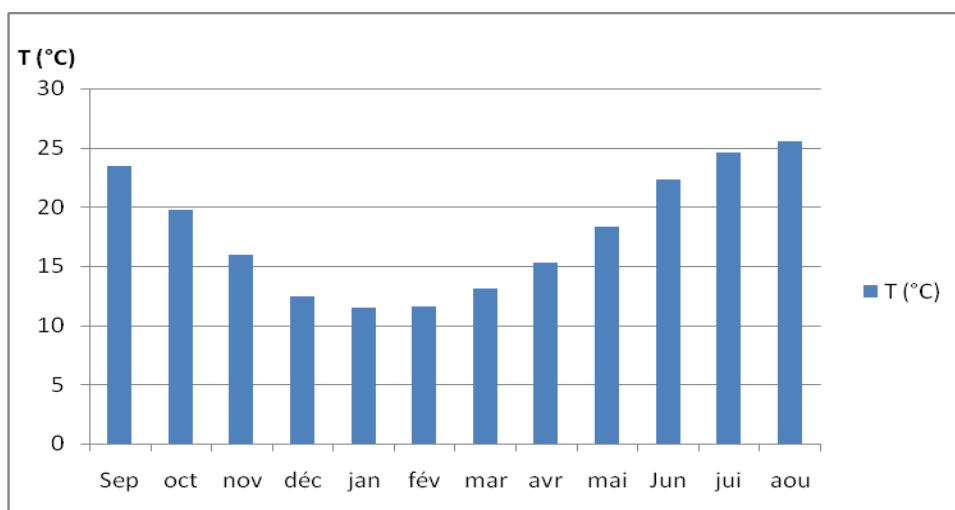
C'est un paramètre indispensable à l'étude climatologique, elle participe au bon fonctionnement du cycle de l'eau. Par ailleurs, elle contribue par un apport d'énergie à la végétation. Elle est considérée comme un facteur très important régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données des températures enregistrées à la station " les Salines" sur une période de 35 ans (1980 -2015) sont illustrées dans le **tableau n° 07**.

**Tableau n° 07. Températures moyennes mensuelles en (°C) à la station des Salines (Période 1980 – 2015).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Les Salines	23.44	19.70	15.92	12.41	11.44	11.58	13.14	15.26	18.32	22.27	24.60	25.56

#### 3.4.2. Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station des salines.

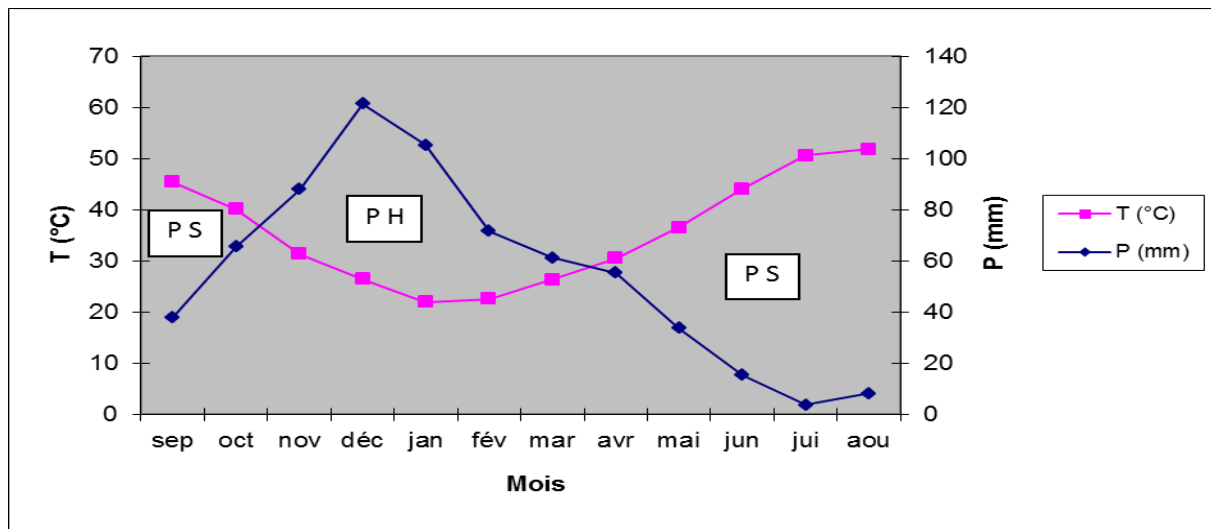
L'histogramme des températures moyennes mensuelles (**figure n°08**) montre les variations des températures d'un mois à l'autre avec un maximum de 25.56°C au mois d'Août et un minimum de 11,44°C au mois de Janvier au niveau de la station des Salines :



**Fig. n°08. Températures moyennes mensuelles de la station des Salines (Période 1980-2015).**

### 3.4.3. Diagramme ombrothermique.

Il s'agit de la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles. Il permet de déterminer les saisons sèches et humides, tel qu'il est mentionné ci-dessous (**figure n°09**).



**PH : Période humide. PS : Période sèche.**

**Fig. n° 09. Diagramme Ombrothermique de la Station des Salines (Période 1980-2015)**

### 3.5. Bilan hydrique.

Le bilan hydrique (**tableau n°09**) de l'eau est fonction d'un certain nombre de facteurs, dont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration. Il nous permet d'évaluer les effets du climat sur l'écoulement dans le bassin versant et tient compte uniquement des entrées et des sorties, qui s'effectuent par **voie** atmosphérique.

Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

**Avec :**

- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **ETR** : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).
- **R** : Ruissellement moyen annuel en (mm).
- **I** : Infiltration moyenne annuelle en (mm).

#### 3.5.1. Evapotranspiration.

C'est l'ensemble des deux phénomènes, l'une physique « évaporation » et l'autre biologique « transpiration ».

On distingue : évapotranspiration potentielle (ETP) et évapotranspiration réelle (ETR).

### 3.5.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant des apports d'eau suffisants. Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE » utilisable pour les climats sub-humides et semi-arides. Appliquée par la formule suivante :

$$ETP = 16(10 t / I)^a \cdot K$$

Avec :

$$a = 0.016 + 0.5 \quad ; \quad I = \sum i \quad ; \quad i = (t / 5)^{1.514}$$

-ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm)

- t : Température moyenne mensuelle en (°C).

- i : Indice thermique mensuel.

- I : La somme des indices mensuels.

- K : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

### 3.5.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).

C'est la somme de l'évapotranspiration pour une surface donnée et une période définie. On l'estime par la formule de « TURC » qui est basée sur les températures et les précipitations moyennes annuelles.

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec :

- ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).
- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand :
  - $L = 300 + 25t + 0.05t^3$ , où t est la température moyenne annuelle en °C.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR, calculées par cette formule (de TURC) sont notifiées dans le **tableau (n° 08)**

**Tableau n° 08 : Résultats de l'ETR obtenus par la formule de « TURC »  
Station Les Salines (Période 1980-2015).**

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Les Salines	661.8	17,82	6404.28	1470.2

L'estimation de l'évapotranspiration réelle ETR en (mm) est liée au volume de précipitations. Trois cas peuvent se présenter :

- 1<sup>er</sup> cas :  $P \geq ETP \rightarrow ETR = ETP$

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

- 2<sup>ème</sup> cas :  $P < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$  :

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

- 3<sup>ème</sup> cas :  $P > ETP$  et  $RFU = 0 \rightarrow ETR = P$  :

Il y aura donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

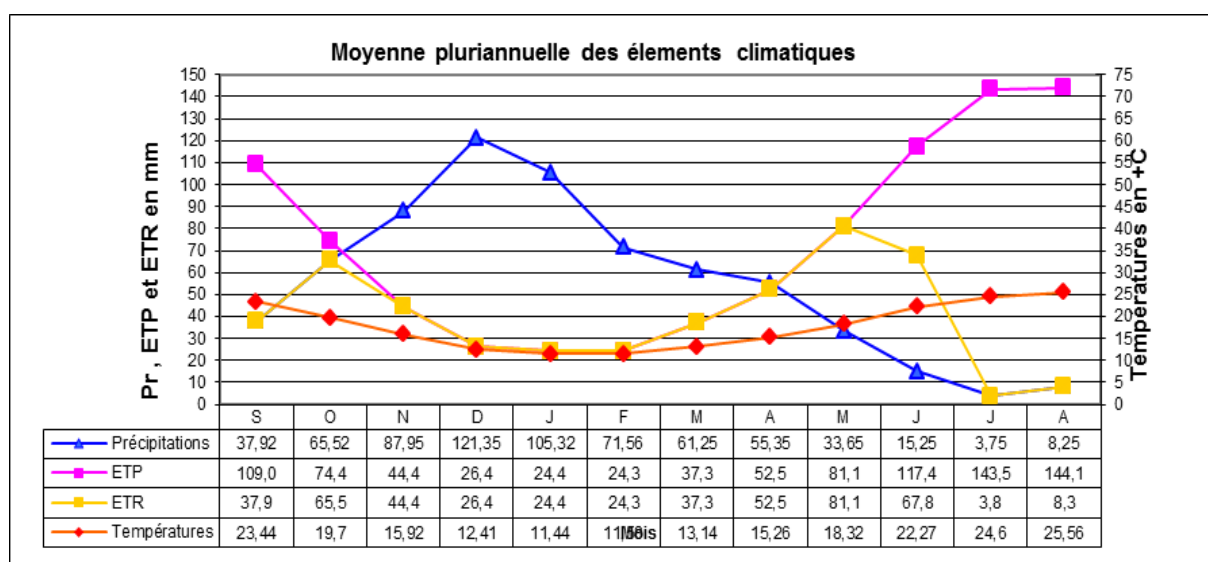
**Tableau n°09. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station des Salines (Période 1980-2015).**

MOIS	T (°C)	I	K	ETP (mm)	P (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)
S	23,4	10,4	1,03	109,0	37,92	0,0	37,9	71,1	0,0
O	19,7	8,0	0,97	74,4	65,52	0,0	65,5	8,8	0,0
N	15,9	5,8	0,86	44,4	87,95	43,5	44,4	0,0	0,0
D	12,4	4,0	0,81	26,4	121,35	100,0	26,4	0,0	38,5
J	11,4	3,5	0,87	24,4	105,32	100,0	24,4	0,0	81,0
F	11,6	3,6	0,85	24,3	71,56	100,0	24,3	0,0	47,2
M	13,1	4,3	1,03	37,3	61,25	100,0	37,3	0,0	24,0
A	15,3	5,4	1,10	52,5	55,35	100,0	52,5	0,0	2,8
M	18,3	7,1	1,21	81,1	33,65	52,6	81,1	0,0	0,0
J	22,3	9,6	1,22	117,4	15,25	0,0	67,8	49,6	0,0
J	24,6	11,2	1,24	143,5	3,75	0,0	3,8	139,7	0,0
A	25,6	11,8	1,16	144,1	8,25	0,0	8,3	135,8	0,0
Moy	17,8	84,6	//	878,6	667,1	//	473,6	405,0	193,5

MOY(Tp) = 17.8 mm    SOM(ETPC) = 878.6 mm    SOM(Pr) = 667.1    BH = 211.5 mm  
 SOM(ETPR) = 473.6 mm    SOM(Def) = 405.0 mm    SOM(Exc) = 193.5mm

### 3.5.2. Représentation graphique du bilan hydrique :

Afin d'éclaircir les résultats obtenus, une représentation graphique des données sera préférable (**figure n° 10**) :



**Fig. n°10. Représentation graphique du bilan de THORNTHWAITE : Station des Salines (Période 1980-2015).**

### 3.5.3. Ruissellement (R).

Il est calculé par la formule empirique de « TIXERONT BERKALOUF » : cette formule est basée sur la relation suivante :

$$R = P^3 / 3 (ETP)^2 \quad \text{Si : } P < 600 \text{ mm}$$

Cette formule est modifiée par MOMAMTCHOK comme suite :

$$R = P^3 / 3 \text{ Si : } P > 600 \text{ mm}$$

- R : Ruissellement en (mm).
- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm).

### 3.5.4. Infiltration (I).

C'est la quantité d'eau franchissant la surface du sol (**tableau n°10**). Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (Castany 1982). Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I \quad \rightarrow \quad I = P - (R + ETR)$$

Avec:

- I : L'infiltration en (mm).
- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- R : Ruissellement en (mm).
- ETR : Evapotranspiration annuelle en (mm)

**Tableau n° 10. Valeurs de l'infiltration efficace  $I_e$  (mm) et du ruissellement  $R$  (mm), stations des Salines (Période 1980-2015).**

Stations	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	$I_e$ (mm)
Les Salines	667.10	473.60	128.19	65.31

### 3.5.5. Interprétation du bilan hydrique.

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre. D'après l'établissement du bilan hydrique, on a pu tirer quelques conclusions :

Bilan hydrique global période allant 1980-2015 :

Le déficit agricole se remarque à partir du mois de Juillet et se poursuit jusqu'à Octobre, période pendant laquelle la RFU épuisée.

Les hauteurs de précipitation atteignent leurs maximums au mois de Décembre (121.35 mm) où l'ETP atteint en Mars un minimum (37,3mm)

L'ETP atteint son maximum au mois d'Aout (144,1 mm) où les précipitations atteignent (8.25 mm).

La réserve facilement utilisable est épuisée à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre, période marquée par un déficit agricole.

### 3.6. Conclusion.

Cette synthèse met en évidence une variation saisonnière marquée des facteurs climatiques : la pluviométrie et l'évapotranspiration

Le climat de la région est de type méditerranéen marqué par avec une saison pluvieuse allant de septembre- à Mai (Max. 121.35 mm), et une saison pratiquement sèche en juin, juillet et Août (Min. 3.75 mm). La région d'étude accuse des valeurs d'ETP (878.6 mm) extrêmement fortes à cause des fortes Températures alors que la recharge interannuelle est relativement faible (infiltration d'ordre 65.31 mm et un ruissellement d'ordre 128.19 mm).

D'après les calculs, on a un pourcentage de 54.28% d'années déficitaires et un 45.72% d'années excédentaires.

Pour le calcul du bilan hydrique, le choix s'est porté sur la méthode de Thornthwaite où la valeur de la RFU est égale à 100 mm.

Les pertes par l'évapotranspiration sont très importants (473.6 mm).

D'après les résultats, le déficit agricole est égal à 405.0 mm

---

La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU), s'effectue au mois de Novembre et reste jusqu'au mois de Mai à partir duquel il y a un surplus d'eau accompagnée par un ruissellement.

## **Chapitre 4. La Station d'épuration des eaux usées d'El Allélick, Annaba.**

### **4.1. Introduction.**

Les eaux usées du secteur de l'industrie sont considérées comme très nuisibles pour le milieu récepteur quand elles sont déversées sans traitement préalable. A cet effet, et pour des raisons économiques, ce secteur est de plus en plus contraint à réduire sa charge polluante et de reconsidérer les filières de recyclage et de récupération, ce qui est aussi avantageux dans une perspective de gestion globale des ressources naturelles et de l'environnement.

Parmi ces types d'effluents, les rejets ont été classés par l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement parmi les plus dommageables à l'environnement. Les sources de production des effluents sont multiples mais il reste à identifier celles qui présenteront le plus d'intérêts pour la collectivité à être dirigées vers une filière de traitement qu'il faut utiliser.

Le Quatrième chapitre, explique les sources principales ainsi que les différentes étapes et matières responsables de la pollution de l'eau.

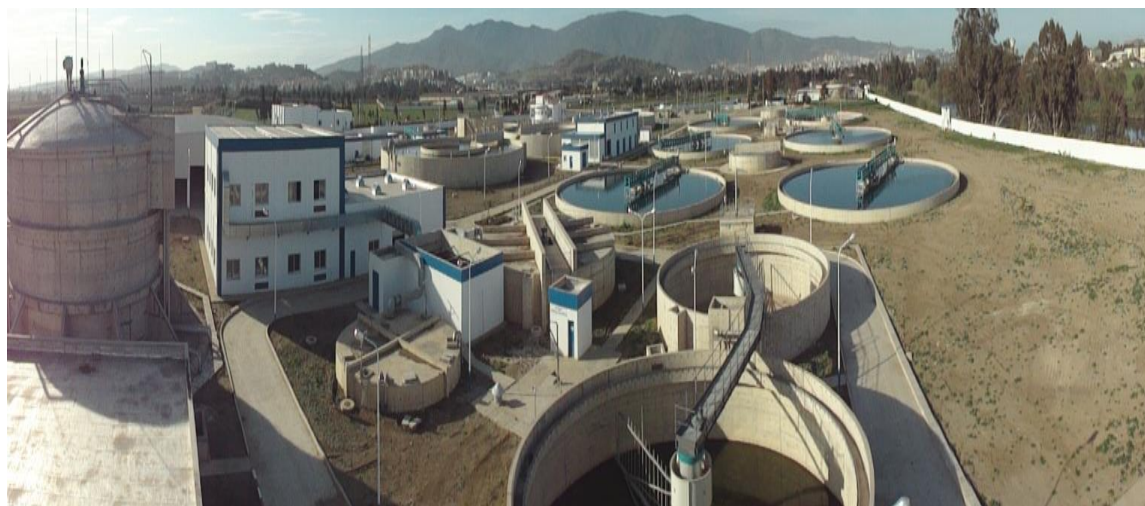
### **4.2. Historique de la STEP et capacité en équivalent par habitant.**

Les eaux usées qui subissent un traitement à la station d'épuration d'El-Allélick, située à quelques kilomètres au Sud-Est de la ville d'Annaba, seront vendues aux utilisateurs, indiquant que le complexe sidérurgique de l'ex Arcelor Mittal El-Hadjar figure parmi les clients potentiels, à l'instar des agriculteurs de la région.

Opérationnelle depuis 2010, la STEP d'El-Allélick, troisième à l'échelle du pays de par ses capacités, assure la dépollution et le recyclage des ressources en eau non conventionnelles au bénéfice de l'agriculture et de l'industrie (projet en cours). Le but de cette STEP dont le coût de réalisation est estimé à 4 milliards de dinars, est de purifier également les eaux de rejets pour protéger la faune et la flore. Cette station compte actuellement une capacité de 683.000 équivalents habitants, extensible en 2035 avec un débit moyen à épurer de 83.620 m<sup>3</sup> d'eau/j, a-t-on indiqué à la direction des ressources en eau. La station d'épuration d'El-Allélick a commencé à traiter les eaux usées du chef-lieu des communes d'Annaba et d'El-Bouni. Cette structure devrait élargir son champ d'action, à court terme, pour toucher les communes d'El-Hadjar et de Sidi Amar. Signalant, dans ce contexte, que deux stations de pompage et un collecteur de refoulement des eaux usées vers la STEP d'El-Allélick ont été inscrits à la réalisation dans ces deux communes.

### 4.3. Situation géographique de la STEP d'El-Allélick d'Annaba.

La station d'épuration des eaux usées d'El Allélick, est située à 5 km à l'Est d'Annaba dans la commune d'El-Bouni (**figure n ° 11**). La STEP d'El Allélick prend en charge en première phase les eaux usées des localités d'Annaba, El Bouni, Boukhadra, Sidi Salem, Boucédra, Bouzâaroura et le couloir de Kherraza-Oued Ennil. Et en deuxième phase les eaux usées d'El-Hadjar et Sidi Amar. La station d'épuration d'El Allélick s'étend sur une superficie de 15 hectares et assurera une épuration des eaux usées au bénéfice d'un éventuel projet d'irrigation agricole et industriel.



**Figure n° 11. Station d'épuration des eaux usées d'El Allélick, Annaba**

### 4.4. Les différents ouvrages présents dans la STEP d'El-Allélick.

Les différents ouvrages de la STEP d'El-Allélick sont :

1. Bâtiment du prétraitement (dégrillage, dessablage – déshuilage).
2. Décanteur primaire
3. Relevage
4. Réacteur biologique (Bassin biologique)
5. Clarificateur (décanteur secondaire)
6. Dégazeur
7. Bassin de stabilisation des boues
8. Gazomètre
9. Digestion
10. Bâtiment de déshydratation mécanique
11. Bâtiment d'exploitation

La station d'épuration des eaux usées d'El Allélick est la troisième unité algérienne au plan de sa capacité, après Alger et Oran. La station d'épuration d'El Allélick prend en charge les eaux usées des localités d'Annaba, El Bouni, Boukhadra, Sidi Salem, Boucedra, Bouzâaroura, et le couloir de Kherraza-Oued Ennil. Elle traite aussi, en deuxième phase les eaux usées des communes d'El Hadjar et Sidi Amar.

#### **4.5. Procédé et fonctionnement des ouvrages de la STEP d'El-Allélick, Annaba.**

La filière de traitement de l'eau de la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Annaba se compose de :

##### **4.5.1. Prétraitement.**

Les effluents sont transférés jusqu'à la station par un collecteur sous pression. Quatre dégrilleurs fins en tête du prétraitement assurent l'élimination des déchets solides.

Les effluents transitent vers trois ouvrages de dessablage-déshuilage permettant la décantation des résidus les plus denses (sable) et la flottation des déchets les plus légers (matières grasses).

A l'issue du prétraitement, le comptage des effluents est assuré par 2 canaux venturi et un préleveur d'échantillon automatique.

Les effluents sont ensuite répartis sur deux files de décantation primaire (décanteur de 42 mètres de diamètre), qui assurent l'élimination des matières en suspension dans l'eau.

##### **4.5.1.1. Le Dégrillage :** comprend un dégrillage fin et grossier.

Le but est d'éliminer les éléments solides ou particulaires les plus grossiers (**figure n° 12**).

Installation de deux dégrilleurs droits (dont un manuel) à nettoyage automatique par râpeaux

Espacement des barreaux : 20mm pour le dégrilleur automatique et 30mm pour l'agrile fixe

Epaisseur des barreaux : 10mm maximum

La grille sera dimensionnée pour un colmatage maximum de 30 cm et la surface immergée sera égale à 2,49m<sup>2</sup>.



**Figure n°12. Dégrillage (STEP Annaba).**

**4.5.1.2. Dessablage/Déshuilage.**

- Dessablage : le but est de faire décanter les éléments plus fins.
- Déshuilage-dégraissage (figure n°13): le but est d'éliminer les huiles et les graisses et s'effectue dans un ouvrage longitudinal dimensionné pour accepter un débit de pointe par temps de pluie de  $4.180 \text{ m}^3$ . L'ouvrage regroupe dans un même ensemble :
  - Un dessablage 0.10 avec une prise automatique des sables par pompage qui seront extraits de l'ouvrage de prétraitement et séparés de leur eau par un classificateur, puis stockés dans une benne.
  - Un déshuilage aéré avec raclage mécanique des graisses et flottant.Les graisses et huiles stockées dans une fosse à graisses avant enlèvement.

- Hauteur de l'ouvrage minimum 1.75 m

- Surface totale minimum :  $168 \text{ m}^2$

Nombre d'ouvrages : 02

Surface d'un bassin :  $17.5 \text{ m}^2$

Largeur d'un bassin : 4.80 m



**Figure n° 13. Dessablage – Déshuilage (STEP Annaba).**

**4.5.2. Décantation primaire.**

La décantation primaire classique (figures n°14, n°15) consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Ce traitement élimine 30 à 40 % des matières en suspension et réduit d'environ 30 % la DBO et la DCO.

Nombre d'ouvrages : 02

Forme : cylindro-conique

Surface totale minimum : 1.394 m<sup>2</sup>

Surface /Bassin minimum : 697 m<sup>2</sup>

Diamètre d'une bassine minimum : 30.00 m



**Figure n°14. Décanteur primaire (STEP Annaba).**



**Figure n°15. Amont décanteur (STEP Annaba).**

#### **4.5.2.1. Répartition des eaux prétraitées.**

A la sortie des ouvrages de dessablage et déshuilage, la répartition des effluents prétraités sur les deux décanteurs primaires est assurée par la mise en place de déversoirs de 5 m de long chacun.

#### **4.5.2.2. Décanteur primaire.**

C'est lors de ce traitement que s'élimine l'essentiel des agents polluants dans les eaux usées à savoir l'élimination de la pollution carbonée biodégradable.

Il consiste à mettre en contact l'eau usée avec une biomasse épuratrice qui est en fait un écosystème simplifié et sélectionné ne faisant appel qu'à des micro-organismes. Elle est constituée d'être vivants de petite taille, inférieure au millimètre, microflore de bactéries et microfaune d'animaux, protozoaires.

Dans le cas des eaux usées urbaines, on favorise le développement de bactéries aérobies, c'est-à-dire, qui utilisent l'oxygène pour se développer.

Il comporte deux étapes principales :

#### **4.5.3. Traitement Biologique.**

A la sortie des décanteurs, des goulottes périphériques permettent une collecte de l'eau vers le relèvement intermédiaire.

L'eau brute est ensuite répartie en trois bassins de 14 200 m<sup>3</sup> destinés à éliminer la pollution dissoute et les impuretés organiques à l'aide d'une biomasse épuratrice.

Ces bassins sont constitués de deux zones bien séparées : une zone anaérobie de 2.800 m<sup>3</sup> au centre de l'ouvrage et un chenal périphérique de 11.500 m<sup>3</sup> (zone aérobie).

Trois turbocompresseurs permettent l'oxygénation de la biomasse en suspension.

Les effluents sont ensuite envoyés vers deux dégazeurs assurant la réparation des affluents entre la six clarificateurs de 42 mètres de diamètre qui assurent la séparation entre les eaux épurées et la biomasse.

Une partie de cette biomasse recircule afin de maintenir une concentration moyenne de 5g/l en micro-organismes épuratoires. L'autre partie est extraite et envoyée sur la ligne de traitement des boues.

##### **4.5.3.1. Le relevage intermédiaire.**

L'alimentation du traitement biologique est réalisée par un poste de relèvement (**figure 16**). Le débit des eaux traitées sur la filière biologique est maîtrisé par un poste de pompage équipée de 4 pompes avec variateur et 3 pompes à débit fixe. Un trop plein assure le rejet direct des eaux décantées non relevées par fonctionnement de ce trop-plein



**Figure n°16. Bassin de Relevage intermédiaire (Station d'El-Allélick, Annaba).**

#### 4.5.3.2. Bassin biologique (Réacteur biologique) (figure n°17).



**Figure n°17. Bassin de traitement biologique (STEP Annaba).**

##### - Bassin d'aération.

Débit journalier des eaux usées : 32.000m<sup>3</sup>/j

L'aération s'effectue dans deux bassins longitudinaux fonctionnant en parallèle, Donc volume total d'aération : 9.33m<sup>3</sup>

Volume d'un bassin d'aération dans des ouvrages rectangulaires de rapport L/l=4

Surface d'un bassin : 1.037m<sup>2</sup>

Longueur d'un bassin : 64.40m

Largeur d'un bassin : 16.10m

##### - Besoins en oxygène

Production d'O<sub>2</sub> : 1.7 kg O<sub>2</sub>/KWh

Les besoins en oxygène sont multiples, il est calculé en fonction :

- De la population carbonée, dont l'élimination est établie sur la durée de pointe diurne (16heures), -de la respiration endogène des boues étalée sur 24heures. \* Pollution carbonée : La consommation théorique en oxygène, exprimée en kg/j, 5.500 kgo2/j, soit 230 kgO2/h.
- Des besoins en oxygène de point = 367.52kgO2/h

**4.5.4. Dégazeur.**

En sortie des bassins d'aération deux ouvrages de dégazage de l'effluent permettent d'éviter les départs de matière en suspension (MES) dans les eaux traitées au niveau des clarificateurs (**figure n°18**).



**Figure n°18. Dégazeur (STEP Annaba).**

**4.5.5. Clarificateur.**

A la sorte des bassins d'aération, la liqueur biologique sera soumise à une clarification de façon à séparer les boues activées de l'eau épurée, et à les recycler vers les bassins d'aération. La surface de clarification est calculée pour permettre une vitesse ascensionnelle de 0.9m/h (pour débit de pointe) (**figure n°19**).

Surface =Débit de pointe/ vitesse ascensionnelle. =418/0.95 =4.402.10m<sup>2</sup>

Nombre de décanteurs : 02

Surface /bassin = 2.201 m<sup>2</sup>

Diamètre : 53.00 m

Flux massique : 17.0kg/m<sup>2</sup>/h

Temps de séjour : 2.5 h



**Figure n°19. Clarificateur (STEP Annaba).**

#### **4.6. Traitement des boues.**

Les traitements imposés aux boues s'effectuent d'une manière générale en plusieurs étapes modulables selon la filière retenue, on distingue ainsi :

- L'épaississement
  
- La digestion.
  
- La déshydratation

##### **4.6.1. L'Épaississement.**

Les boues primaires, les graisses et les boues biologique sont épaissies au niveau de trois ouvrages de 20 mètres de diamètres, permettant de les concentrer avant les étapes de gestion et déshydratation.

###### **4.6.1.1. L'épaississement des boues primaires.**

Visé à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. qui peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation) **(figure n°20).**



**Figure n°20. Epaisseur primaire (STEP Annaba).**

#### 4.6.1.2. L'Epaisseur des boues biologiques.

Ce procédé d'épaississement par son mouvement circulaire, favorise la séparation de l'eau et de la boue contenue dans celle-ci (**figure n°21**). Les boues extraites des clarificateurs alimentent directement les épaisseurs par pompage. Les boues épaissies sont soutirées en fond d'ouvrage. Un débitmètre électromagnétique assure le comptage des boues épaissies.



**Figure n°21. Bassin d'Epaisseur des Boues Biologiques (Station d'El-Allélick, Annaba).**

#### 4.6.2. La Digestion.

La digestion est un procédé biologique stabilisation des boues à 35°C, qui produit un biogaz valorisable. Il est utilisé pour la production de l'eau chaude nécessaire au maintien de la température des boues dans les deux digesteurs de 3 090 m<sup>3</sup>. La chaudière biogaz est secourue par chaudière au fuel qui fonctionne automatiquement en cas d'insuffisance de pression du biogaz. Les boues digérées sont ensuite évacuées et stockées dans une bache à boues stabilisées de 300 m<sup>3</sup> (**figure n°22**).

La stabilisation des boues de type biologique, chimique ou thermique dont l'objectif est de réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs.



**Figure n°22. Bache à Boues Stabilisées. (STEP Annaba).**

#### 4.6.3. Déshydratation mécanique des boues.

Les boues conditionnées avec de la chaux sont déshydratées par deux filtres presses à plateaux à une siccité de 40 %, puis évacuées vers un aire de stockage couverte de 3 600 m<sup>2</sup> (**figure n°23**).



**Figure n° 23. Déshydratation des boues (Station d'El-Allélick, Annaba).**

#### 4.6.4. Stockage des boues (figure n°24).



Figure n°24. Stockage de boues au sol (Station d'El-Allélick, Annaba).

#### 4.7. Conclusion.

La station d'épuration des eaux usées d'El-Allélick est destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant leurs rejets dans le milieu naturel. L'objectif de cette station est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur sans risque majeur de pollution environnemental. Rejets qui, actuellement s'effectuent dans l'Oued Seybouse via l'Oued Méboudja, et dans un futur très proche, leurs réutilisations pour l'irrigation des zones agricoles mais aussi pour l'industrie demandeur (complexe sidérurgique d'El-Hadjar), et ce pour la préservation des ressources hydriques.

---

## **Chapitre 5 : Optimisation, traitement des eaux usées épurées et impact de leur réutilisation dans l'environnement.**

### **5.1. Introduction.**

La maîtrise de l'eau aujourd'hui une science qui permet de développer, de diversifier et de régulariser en valorisant au mieux le potentiel des terres et des ressources en eau. Certaines régions connaissent un déficit ressources hydrique qui doit être compensé par la répartition et la réutilisation des eaux usées.

Le but de notre travail est d'étudier d'une part l'optimisation, le traitement, la qualité des eaux usées et d'autre part l'impact de leur réutilisation pour la protection de l'environnement.

### **5.2. Problématique.**

En l'absence de toute influence humaine, la qualité chimique naturelle d'une eau résulte d'une somme de processus biologique, géologique et hydrogéologique. En Algérie, la croissance démographique urbaine et la consommation importante augmentation des volumes des rejets des eaux usées. Ces rejets risquent de conduire à une dégradation profonde des ressources en eau. D'où un traitement approprié des eaux usées avant leurs rejets dans l'environnement.

### **5.3. Intérêt de la réutilisation des eaux usées épurées.**

Traiter suffisamment on eaux usées pour leur réutilisation en agriculture et en industrie. Cette réutilisation, exige toutefois la maîtrise des problèmes relatifs à la santé humaine et à l'environnement.

### **5.4. Les analyses des eaux usées épurés de la station d'El Alléick, Annaba**

#### **5.4.1. Prélèvement et échantillonnages.**

##### **5.4.1.1. Le prélèvement.**

De l'échantillon d'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP d'Annaba, se fait manuellement à l'aide d'un petit récipient, puis il est versé dans des bouteilles en plastique. Puis on transporte ces échantillons au laboratoire de la station pour faire les analyses physico-chimiques et de pollution.

#### 5.4.1.2. L'échantillonnage.

L'échantillonnage s'est effectué pendant deux périodes Juin 2015 et Mai 2016, la collecte des eaux à l'entrée et la sortie du dispositif de traitement et ce, chaque jour et pendant 30 jours.

#### 5.4.2. Méthode et matériels.

##### 5.4.2.1. Paramètres physique-chimiques.

Tableau n°11. Paramètres physico-chimiques (période 2015-2016).

Paramètres	STEP d'El- Alléick.		Normes des eaux destinées à l'irrigation		
	Eaux usées Brute	Eaux usées traitées	J.O.R.A 2006 <sup>1</sup> et 2012	FAO 1985	OMS 1989
<b>PH</b>	<b>7.71</b>	<b>7.77</b>	<b>6 &lt; pH &lt; 8.5</b>	/	/
<b>CE (µS/cm)</b>	<b>1307,85</b>	<b>1145,88</b>	<b>700 -3000*</b>	/	/
<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<b>01,49</b>	<b>08,13</b>	<b>&gt; 5 *</b> Très bon	/	/
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	<b>158,28</b>	<b>31,81</b>	<b>30</b>	/	/
<b>DCO (mg/l)</b>	<b>287,72</b>	<b>39,21</b>	<b>90</b>	/	/
<b>MES (mg/l)</b>	<b>252,98</b>	<b>06,31</b>	<b>30</b>	/	/
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	<b>29,08</b>	<b>05,45</b>	/	/	<b>2</b>
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	/	<b>1</b>	/
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>0,91</b>	<b>04,67</b>	<b>30</b>	/	/
<b>NT (mg/l)</b>	<b>38,78</b>	<b>12,06</b>	<b>30</b>	/	/
<b>PT (mg/l)</b>	<b>04,33</b>	<b>01,63</b>	<b>10<sup>1</sup></b>	/	/

(\* Réunion).

##### 5.4.2.1.1 .Le pH.

Il représente le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu. Son influence se fait ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments, comme les métaux dont il peut diminuer ou augmenter la solubilité et donc la disponibilité et la toxicité éventuelle (GAUJOUS, 1995).

Le protocole opératoire de la mesure de pH des eaux s'effectue par la méthode potentiométrique à l'aide d'une électrode platine combinée à une sonde de T° dont la valeur est comprise entre 0 et 60 °C et un pH compris entre 3 et 10.

#### **5.4.2.1.2. La Conductivité électrique.**

La conductivité électrique d'une eau comme étant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup>, elle s'exprime en µS/cm. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (RODIER et al, 2009).

Le protocole opératoire de la mesure de conductivité s'effectue par l'utilisation d'un conductimètre électrique et s'exprime en micro Siemens par centimètre (µS/cm).

#### **5.4.2.1.3. L'Oxygène dissous (O<sub>2</sub>).**

Le terme oxygène dissous est communément employé pour "dioxygène dissous". Lorsque l'on parle de cette mesure on fait exclusivement référence à l'oxygène moléculaire (O<sub>2</sub>). Le dioxygène dissous est indispensable car il intervient dans la plupart des processus biologiques qui permettent la vie, sur terre comme en mer. La concentration en oxygène dissous dans l'eau résulte de paramètres physiques (température, salinité, mélange de la masse d'eau), chimiques et biologiques: échanges à l'interface terre-mer (gain ou perte), diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau, photo-oxydation (perte), respiration des organismes aquatiques (perte), nitrification (perte), photosynthèse (gain). En son absence ou en dessous de certaines concentrations, des conséquences pouvant aller jusqu'à la mort des espèces vivantes sont observées.

L'instrument de mesure de l'oxygène dissous portatif (Traceable) de marque Fisherbrand.

#### **5.4.2.1.4. La DBO<sub>5</sub>.**

La DBO<sub>5</sub>, ou demande biochimique en oxygène indique la quantité de matières organiques présentes dans les eaux usées (Xanthoulis, 1993).

Le protocole opératoire de la détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) de ces eaux a été effectuée par la méthode manométrique-Norme NFT 90-103.

#### 5.4.2.1.5. La DCO.

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation par processus chimique des matières oxydables existantes dans l'eau. Sa mesure correspond donc à une estimation corrélative des matières oxydables présentes dans l'eau.

Le protocole opératoire de la mesure de la demande chimique en oxygène (DCO) de ces eaux a été réalisé par la méthode spectrophotométrie-Norme NFT 90-101.

#### 5.4.2.1.6. Les MES.

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules minérales et organiques insolubles, flottantes ou en suspension, contenus dans les eaux usées (Cornaz, 2004). Elles sont en majeure partie biodégradable (Faby, 2003).

Le protocole opératoire de la mesure des matières en suspension (MES) des échantillons a été réalisé par la méthode selon la norme séparation des matières en suspension par centrifugation-Norme NFT 90-105.

#### 5.4.2.1.7. Les Nitrites.

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Ils sont l'un des éléments nutritifs majeurs des végétaux.

Le protocole opératoire décrit la méthode d'analyse des nitrates par spectrophotométrie norme DIN 38405 D9-2

### Les Macro-éléments nutritifs ( $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , NT, PT) :

#### 5.4.2.1.8. L'Ammoniac.

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Il provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

Le protocole opératoire décrit la méthode d'analyse de l'Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) par spectrophotométrie norme DIN 38406-E5.

#### 5.4.2.1.9. Les Nitrates .

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium et les nitrates. Peu stables, on ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation ou de la flore bactérienne.

Le protocole opératoire de la mesure des nitrites (NO<sub>2</sub>-) de ces eaux s'effectue par la méthode spectrophotométrie norme DIN EN 26777 D10.

#### 5.4.2.1.10. L'Azote total.

Dans les eaux, l'azote peut se trouver sous forme minéral (ammoniacal, nitrate) ou organique. La présence d'azote organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et altère les conditions de vie.

Le dosage de l'Azote total est la méthode Kjeldahl.

#### 5.4.2.1.11. Phosphore total.

Le phosphore est indispensable au développement de tous les organismes vivants. Il est présent naturellement dans les cours d'eau. Il l'est aussi dans les eaux usées industrielles et domestiques dans des proportions bien plus élevées. Le phosphore total Pt est composé.

Le mode opératoire décrit la méthode d'analyse du phosphore total par spectrophotométrie EPA 365,2+3, APHA 4500-P-E, DIN EN ISO 6878-D11.

#### 5.4.2.2. Les paramètres microbiologiques (tableau n°12).

Tableau n° 12. Des paramètres microbiologiques.

Microorganismes (UFC/100ml)	STEP d'El-Alléick	Normes des eaux destinées à l'irrigation (O.M.S 1989)
	Eaux usées traitées(EUT)	
Coliformes totaux	$7 \cdot 10^5$	$\leq 2.2$
Coliformes fécaux	$2 \cdot 10^3$	$\leq 1000$
Streptocoques fécaux	$3 \cdot 10^2$	$< 1000$

---

#### **5.4.2.2.1. Coliformes totaux.**

Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau

Le protocole opératoire de la mesure des coliformes totaux dans les eaux a été réalisé par la méthode Colimétrie par filtration sur membrane-Norme ISO 9308-1: 2014.

#### **5.4.2.2.2. Coliformes fécaux.**

Les coliformes fécaux sont des bactéries utilisées comme indicateur de la pollution fécale d'une eau. Ces bactéries proviennent des matières fécales produites par les humains et les animaux à sang chaud. La qualité bactériologique de l'eau peut être déterminée en fonction des teneurs en coliformes fécaux.

Le protocole opératoire de la mesure des coliformes fécaux de ces eaux est le même que celui des coliformes totaux.

#### **5.4.2.2.3. Streptocoques fécaux.**

Les streptocoques fécaux sont des hôtes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur recherche associée à celle des coliformes fécaux constitue un bon indice de contamination fécale. Ils témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne tandis que les coliformes fécaux.

Le protocole opératoire de la mesure des entérocoques fécaux des échantillons s'effectue par la méthode Streptométrie par filtration sur membrane-Norme ISO 7899-2: 2000.

### 5.4.2.3. Les métaux lourds.

Tableau n°13. Concentrations des métaux lourds.

Paramètres	STEP d' Allélik		Normes maximale admissible REUE en agriculture (J.O.R.A 2012)
	Eaux usées traitées	Court terme	Long terme
Aluminium (mg/l)	2.5	20	/
Arsenic (mg/l)	0	2	/
Cadmium (mg/l)	0.099	1	0.1
Chrome T (mg/l)	0.5	10	0.2
Cuivre (mg/l)	0	5	/
Fer (mg/l)	0.44	0.02	0.02
Plomb (mg/l)	0.102	10	5
Manganèse (mg/l)	0.12	0.05	0.01
Sélénium (mg/l)	0.118	20	5
Zinc (mg/l)	0	10	/

#### 5.4.2.3.1. L'Aluminium.

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre. De ce fait, l'aluminium est communément utilisé comme un composé innocent. Pourtant, lorsqu'on est exposé à de fortes concentrations, il peut engendrer des problèmes sur la santé. La forme soluble dans l'eau de l'aluminium, c'est-à-dire les ions, est la plus nocive. En général, on trouve ces ions aluminiums en combinaison avec d'autres ions, par exemple sous forme de chlorure d'aluminium. L'aluminium est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6. En revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide.

La mode opératoire de la mesure de l'élément Aluminium (Al) dans les échantillons a été effectuée par le test conforme-Norme APHA 3500 AL D.

#### 5.4.2.3.2. L'Arsenic .

L'arsenic est un poison inodore et incolore très puissant. Il est classé parmi les cancérigènes par le CIRCI. Il peut provoquer des cancers de la peau, des poumons, de la vessie. Une exposition aiguë entraîne une diminution de la conductivité des nerfs moteurs.

Une exposition chronique provoque une anoxie, un affaiblissement de la motricité des mains ou des pieds, une neuropathie. Son origine est la plupart du temps naturelle : l'arsenic se trouve dans le sol, et par conséquent dans les aquifères correspondants (Miquel, 2003). L'exploitation minière peut entraîner des contaminations de nappes. L'arsenic peut être absorbé par ingestion, par inhalation ou par contact avec la peau

#### **5.4.2.3.3. Le Chrome totale.**

Le chrome se présente sous la forme d'un métal gris acier et dur. Sa principale particularité est de résister au ternissement et à la corrosion. Les états d'oxydation de +2 à +6 sont rencontrés. Le chrome hexavalent est particulièrement oxydant tandis que le chrome (II) est un réducteur. L'utilisation du chrome la plus connue est sans doute en métallurgie, pour donner un rendu brillant en plus d'améliorer la résistance à la corrosion. On emploie aussi le chrome comme catalyseur dans certaines hydrogénations. Les chromates, par leurs couleurs variés (nuances de jaune pour le chromate de plomb) se retrouvent dans les peintures, mais ils sont toxiques. Dans les verres, les sels de chrome ajoutent une touche de vert.

La mesure de l'élément chrome (Cr) total dans les échantillons a été effectuée par la méthode norme-DIN 38 405-D24.

#### **5.4.2.3.4. Le Fer.**

Le fer minéral est présent dans la nature sous forme pure ou plus rarement sous forme d'alliage avec du nickel (5 à 18 %) d'origine météoritique mais aussi sous forme de fer terrestre dit « tellurique ». Trop rare et surtout disséminé, il est fabriqué artificiellement par l'Homme forgeron et sidérurgiste et massivement dans certaines civilisations caucasiennes depuis plus de trois millénaires à partir de ses principaux minerais. Les combinaisons chimiques et minérales impliquant le fer sont pléthoriques, mais les véritables minerais relativement purs à forte teneur en fer sont beaucoup moins communs et souvent très localisés dans des mines de fer la plupart connues de haute antiquité.

#### **5.4.2.3.5. Le Sélénium.**

Le sélénium est un oligoélément essentiel à l'organisme. Ce bioélément intervient dans l'organisme au travers de nombreuses réactions métaboliques. C'est un antioxydant puissant

qui est capable de détoxifier l'organisme des métaux lourds et de préserver le cœur. L'apport en sélénium doit cependant être très contrôlé en raison de sa toxicité potentielle.

Le protocole opératoire de la mesure de l'élément Sélénium (Se) dans les eaux a été réalisé par la méthode spectrophotométrie par adsorption atomique-Norme NF ISO 17379-2.

#### **5.4.2.3.6. Le Zinc.**

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier. La production mondiale de zinc ne cesse d'augmenter, ce qui basiquement signifie que de plus en plus de zinc se retrouve dans l'environnement.

#### **Les Micro-éléments nutritifs (Cd, Cu<sup>+</sup>, Pb<sup>+</sup>, Mn<sup>+2</sup>) :**

#### **5.4.2.3.7. Le Cadmium.**

L'exposition au cadmium peut se faire par inhalation ou par ingestion d'eau et d'aliments contaminés. Le cadmium est classé parmi les produits cancérigènes pour l'humain par le CIRC. Il provoque le cancer des poumons, et il est soupçonné de provoquer celui des reins et de la prostate. L'exposition aiguë entraîne une somnolence, une perte des réflexes et une paralysie respiratoire. Une exposition chronique entraîne des troubles moteurs et des douleurs osseuses.

La détermination de l'élément cadmium (Cd) dans les échantillons a été réalisée par la méthode spectrophotométrie utilisant un colorant triazène, le « cadion ».

#### **5.4.2.3.8. Le Cuivre.**

Le cuivre joue un rôle de constituant dans de nombreux enzymes. Il est aussi impliqué au niveau du métabolisme du fer, principalement dans la synthèse de l'hémoglobine. Finalement, le cuivre joue un rôle dans les défenses contre les radicaux libres et le métabolisme de l'énergie et participe à la production de collagène.

#### 5.4.2.3.9. Le Plomb.

Le plomb est une toxine naturelle. Il entraîne une altération de la synthèse de l'hémoglobine au niveau de la moelle osseuse et une perturbation de la fabrication des globules rouges (anémie). Chez la femme enceinte, une exposition au plomb augmente les risques d'avortement et pourrait perturber le développement du fœtus. Le plomb est également neurotoxique et hépatotoxique. Une exposition aiguë entraîne des troubles neuropsychiques et des douleurs abdominales. Une exposition chronique (saturnisme) atteint le système nerveux central.

Le mode opératoire de la mesure de l'élément plomb (Pb) dans les échantillons s'effectue par la méthode spectrophotométrie à la dithizone.

#### 5.4.2.3.10. Le Manganèse.

Le manganèse est un oligoélément mais sa surconsommation le rend toxique. Les céréales, les noix, les fruits et les légumes verts sont des sources de manganèse. La dose journalière recommandée est de deux à trois milligrammes. Ce métal agit comme cofacteur pour de nombreuses enzymes (glutamine synthétase et pyruvate carboxylase notamment). Le manganèse s'avère indispensable pour la synthèse d'enzymes qui luttent contre le stress oxydant et atténuent les dommages des radicaux libres. La synthèse des vitamines B1 et E implique aussi le manganèse.

La détermination de l'élément Manganèse dans les eaux a été réalisée par la méthode de norme-DIN 38 406-E2.

#### 5.4.2.4. Les Boues.

Les traitements imposés aux boues s'effectuent d'une manière générale en plusieurs étapes modulables selon la filière retenue, on distingue :

##### 5.4.2.4.1. Epaissement.

Les boues primaires, les graisses et les boues biologiques sont épaissies au niveau de trois ouvrages de 20 mètres de diamètres, permettant de les concentrer avant les étapes de gestion et déshydratation.

#### 5.4.2.4.2. Digestion.

La digestion est un procédé biologique stabilisation des boues à 35°C, qui produit un biogaz valorisable. Il est utilisé pour la production de l'eau chaude nécessaire au maintien de la température des boues dans les deux digesteurs de 3 090 m<sup>3</sup>.

La chaudière biogaz est secourue par chaudière au fuel qui fonctionne automatiquement en cas d'insuffisance de pression du biogaz.

Les boues digérées sont ensuite évacuées et stockées dans une bache à boues stabilisées de 300 m<sup>3</sup>.

#### 5.4.2.4.3. Déshydratation

Les boues conditionnées avec de la chaux sont déshydratées par deux filtres presses à plateaux à une siccité de 40 %, puis évacuées vers un aire de stockage couverte de 3 600 m<sup>2</sup>.

### 5.4.3 . Résultats et discussions.

#### 5.4.3.1. Les paramètres physique-chimique (période 2015-2016).

- La teneur du pH des eaux usées à l'entrée de la station d'épuration d'El Allélick est de 7.71 et à la sortie 7.77 ne dépassant pas les valeurs admises par les normes Algériennes (6,5-8,5).

- La valeur de la conductivité électrique des eaux usées brutes est de 1307.85 μS/cm. Tandis que les eaux usées épurées est de 1145.88 μS/cm ne dépassant pas les normes Algériennes recommandées (700 μS/cm -3000 μS/cm).

- La concentration de l'oxygène dissous des eaux usées à l'entrée de la station est de 01.49 mg/l (oxygénation médiocre comprise entre 1-2 mg/l) et à la sortie elle est de 08.13 mg/l (oxygénation très bonne car supérieur à 5 mg/l).

- La valeur mesurée de la DBO<sub>5</sub> des eaux usées brutes est de 158.28 mg/l dépassant largement les normes algériennes et à la sortie de la station d'épuration elle est égale à 31.81 mg/l, valeur limite aux normes Algériennes (30 mg/l) destinées à irrigation.

- La teneur enregistrée de la DCO des eaux usées brutes est de 287.72 mg/l dépassant largement les normes Algérienne (90 mg/l), celle des eaux épurées est de 39.21 mg/l ne dépassent pas les normes Algérienne destinées à irrigation.
- La concentration de MES des eaux usées brutes (entrée) à la station d'El-Allélik est égale à 252.98 mg/l dépassant largement les normes Algérienne (30 mg/l), et à la sortie elle est de 06.31 mg/l ne dépassent pas les normes Algériennes (30 mg/l) destinée à l'irrigation.
- La valeur de  $\text{NH}_4^+$  est de 29.08 mg/l dans les eaux brutes tandis que dans les eaux épurées, elle est égale à 05.45 mg/l dépassant les normes de l'OMS (2 mg/l) destinées à l'irrigation.
- La valeur mesurée des nitrates à l'entrée de la station d'épuration est de 0.91 mg/l et à la sortie, les teneurs égales à 04.67 mg/l ne dépassant pas les normes Algériennes admises (30 mg/l) destinées à l'irrigation.
- La concentration de  $\text{NO}_2^-$  des eaux usées brutes de la station d'El Allélick est égale à 0.68 mg/l. Alors que les eaux usées épurées, elle est de l'ordre de 0.72 mg/l ne dépassant pas les normes de la FAO (1985) destinées à l'irrigation (1 mg/l)
- La valeur de phosphore totale dans les eaux usées brute est de 04.33 mg/l et à la sortie de 01.63 mg/l ne dépassant pas les normes admises (10 mg/l) (Réunion).
- La teneur de l'azote total des eaux usées à l'entrée de la station est de 38.78 mg/l dépassant les normes Algériennes admises (30 mg/l) et à la sortie de 12.06 mg/l ne dépassant pas la norme destinée à l'irrigation.

#### **5.4.3.2. Les paramètre microbiologiques.**

- La concetration des coliformes totaux à la sortie est de  $7 \times 10^5$  UFC/100 ml à 37 °C dépassant les normes admise par l'OMS (1989) destinées à l'irrigation (< 2.2 UFC/100 ml)
- La concentration des coliformes fécaux à la sortie égales à  $2 \times 10^3$  UFC/100 ml à 44 °C dépassant les normes préconisées de l'OMS destinées à l'irrigation (< 1000 UFC/100 ml).
- La concetration des streptocoques des eaux usées traité est de  $3 \times 10^2$  UFC/50 ml à 37°C dépassant les normes de l'OMS (1989) destinées à l'irrigation (< 1000 UFC).

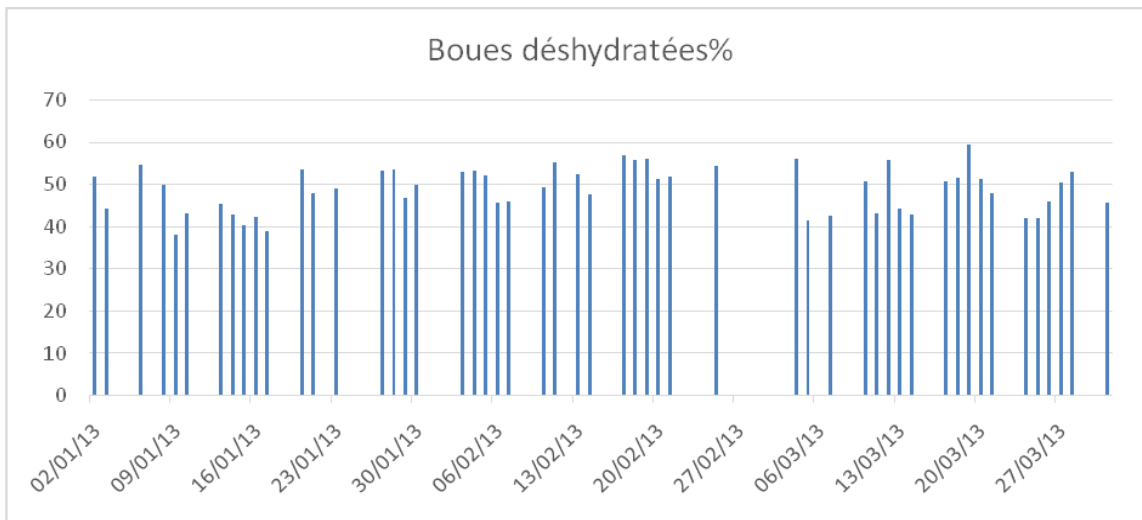
### 5.4.3.3. Les métaux lourds.

- Les concentrations en Aluminium des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de 2.5 mg/l. Elles sont conformes aux normes Algériennes à court terme (20 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les teneurs de l'Arsenic des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de zéro (0 mg/l) ne dépassant pas les normes Algériennes à court terme (2 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les valeurs du Cadmium des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de zéro (0.099 mg/l) ne dépassant pas les normes Algériennes à court terme (1 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les concentrations du Chrome total des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de 0.5 mg/l. Elles sont conformes aux normes Algériennes à court terme (10 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les teneurs du Cuivre des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de zéro (0 mg/l) ne dépassant pas les normes Algériennes à court terme (5 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les valeurs du Fer des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de 0.44 mg/l dépassant les normes Algériennes à court terme (0.02 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les concentrations du Plomb des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de 0.102 mg/l. Elles sont conformes aux normes Algériennes à court terme (10 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les teneurs du Manganèse des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de zéro (0.12 mg/l) dépassant pas les normes Algériennes à court terme (0.05 mg/l) destinées à l'irrigation.
- Les valeurs du Sélénium des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de 0.118 mg/l ne dépassant pas les normes Algériennes à court terme (20 mg/l) destinées à l'irrigation.

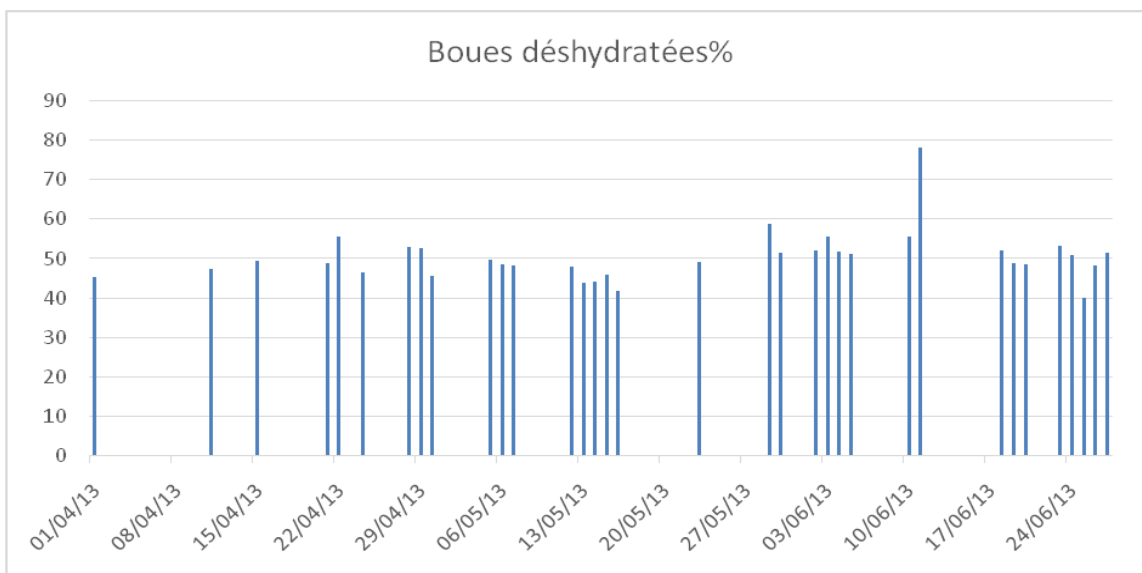
- Les concentrations du Zinc des eaux usées épurées de la station d'El Allélick, Annaba est de 0 mg/l. Elles sont conformes aux normes Algériennes à court terme (10 mg/l) destinées à l'irrigation.

#### 5.4.3.4. Les Boues.

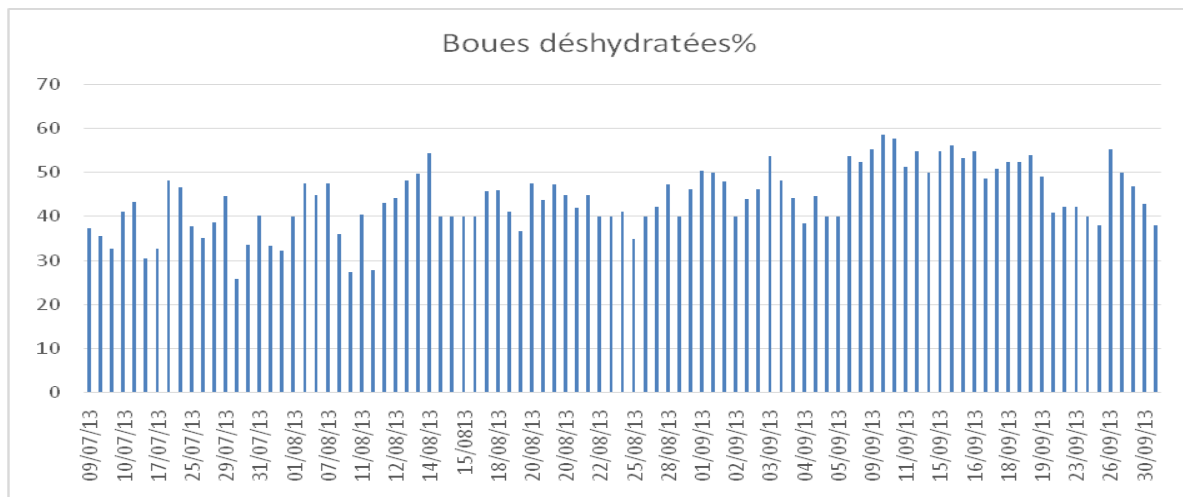
Les analyses des Boues déshydratées sont réalisées dans la station d'épuration d'El Allélick, Annaba (figures 25 à 28).



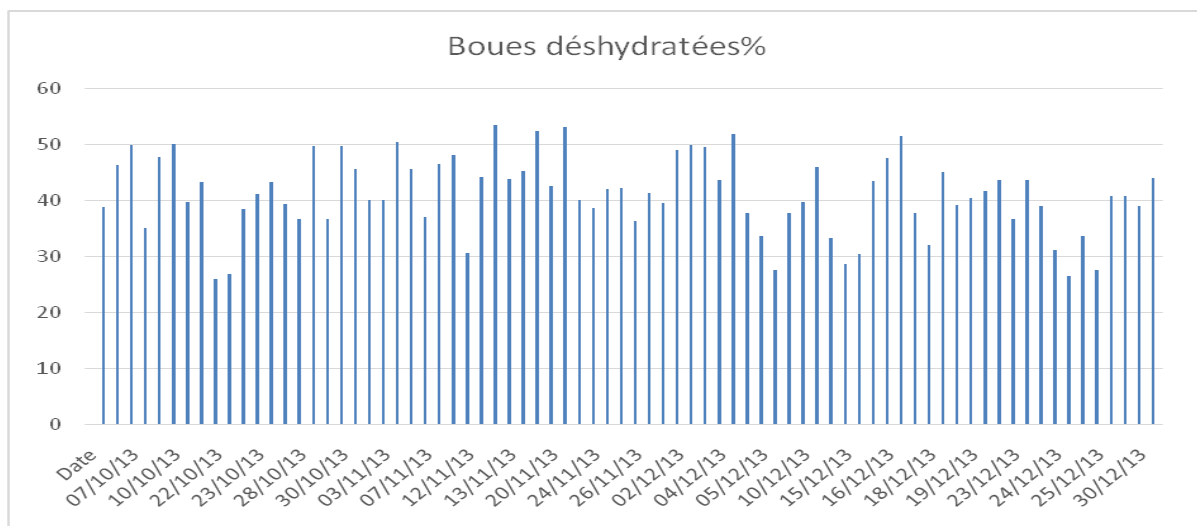
**Figure n° 25. Histogramme des variations de la Boue déshydratée durant les mois Janvier, Février et Mars 2013 dans la station d'El Allélick, Annaba.**



**Figure n° 26. Histogramme des variations de la Boue déshydratée durant les mois Avril, Mai et Juin 2013 dans la station d'El Allélick, Annaba**



**Figure n° 27. Histogramme des variations de la Boue déshydratée durant les mois Juillet, Août et Septembre 2013 dans la station d'El Allélick, Annaba**



**Figure n° 28. Histogramme des variations de la Boue déshydratée durant les mois Octobre, Novembre et Décembre 2013 dans la station d'EL Allélick, Annaba.**

**Discussion.**

Les Boues de la file biologique et de la file Boue primaire sont transmises au niveau des épaisseurs primaires et biologiques. La réduction des Boues est sans dépense d'énergie. La stabilisation s'effectue par un contact des Boues primaires et biologiques. Une fois épaissies, les Boues contiennent une très forte proportion d'eau, environ 97 à 98%.

Et pour rendre les Boues transportables, une déshydratation complémentaire est utilisée par simple addition de la chaux et du chlorure ferrique afin d'améliorer la filtrabilité de la Boue.

En dernier, l'essorage des Boues se fait par filtration mécanique, pour la décharge des gâteaux obtenus, on utilise des filtres presses de type à plaque faciles à mécaniser. Les gâteaux de Boues seront stockés dans un Hangar de stockage pendant 06 mois et seront destinés à l'agriculture comme engrais.

## **6.5. Impact des eaux usées épurées et des Boues dans la station d'El Allélick, Annaba dans l'environnement.**

### **6.5.1. Introduction.**

L'utilisation des eaux usées d'El Allélick, Annaba en agriculture et l'arrosage des espaces verts et parcs peut avoir des impacts positifs et négatifs sur l'environnement. La qualité des eaux usées épurées sous l'angle de leurs caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et toxicologiques, peut déterminer les impacts environnementaux de ces eaux. Néanmoins, ces eaux constituent une importante source d'eau et de nutriments pour les agriculteurs sous des climats arides ou semi arides.

### **6.5.2. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées de la station d'El Allélick, Annaba.**

Les risques liés à une REUE agricole sont :

- Le risque chimique.
- Le risque microbiologique.
- Le risque environnemental.

#### **6.5.2.1. Les risques chimiques.**

Dans le cas d'une réutilisation agricole, la voie de contamination vraiment préoccupante par les éléments chimiques est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Cette accumulation des micropolluants dans les plantes peut être intéressante en tant que facteurs de croissance des végétaux. Donc, il faut trouver un équilibre entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique.

La plupart de ces éléments sont peu solubles, et les traitements des eaux usées par décantation sont efficaces pour les éliminer. On les retrouve donc plutôt dans les **Boues** que dans les eaux épurées. Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur transfert limité vers les végétaux rendent très faible le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation agricole (**Cauchi, 1996**), même si certains s'accumulent dans les racines.

#### 6.5.2.2. Les risques microbiologiques.

Dans le cadre toujours de l'agriculture, des études ont prouvées que les **microorganismes pathogènes** des animaux ne peuvent ni pénétrer, ni survivre à l'intérieur des plantes (Murphy et Syverton, 1985, in Sheikh et coll., 1999). Les microorganismes se retrouvent donc à la surface des **plantes cultivées** et sur le **sol** et il peut y avoir une contamination pendant la croissance des plantes. Notons que les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (**Asano, 1998**).

#### 6.5.2.3. Les risques environnementaux : protection des ressources en eau.

La contamination des ressources en eau dépend des **sols** et des **roches** sous jacentes. Pour les sols, deux caractéristiques sont essentielles : la capacité de **rétenion** et la capacité **d'épuration**. Les **sols** qui ont une bonne capacité de rétenion sont les **sols argilo-sableux**, ceux ayant une mauvaise qualité sont les **roches fissurées**. Une bonne capacité de rétenion assure une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la **pollution** dans le temps. La capacité **d'épuration** est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et l'exportation par les **végétaux**. Les réservoirs ayant une perméabilité d'interstices (gravier, sable) permettent une **bonne épuration** à l'inverse des **sols** avec une perméabilité de fissures (calcaire, dolomies, granit, etc.).

La réutilisation des **eaux usées épurées** peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque, c'est-à-dire des nappes libres proches de la surface du sol dans des réservoirs avec une perméabilité de fissures. L'utilisation de ces ressources pour l'alimentation en eau des collectivités constitue un facteur aggravant le risque.

Pour ce qui est de la survie des micro-organismes, lors de l'infiltration et des risques de contamination du sol, les bactéries, les protozoaires et les helminthes sont très rapidement éliminés, par les phénomènes d'adsorption et de compétition trophiques selon les mêmes phénomènes que les traitements par percolation/infiltration que nous avons déjà décrits. Seuls les virus semblent poser problème, mais les différentes études recensées par Asano convergent toutes vers le fait qu'après quelques mètres (au-delà de 3) la quasi-totalité des virus est éliminée (Asano, 1998).

### 6.5.3.. Risque sur la vie aquatique.

Les eaux usées épurées traitées dans la station d'épuration d'El-Allélick, Annaba sont déversées vers l'Oued Méboudja qui est un confluent avec l'Oued Seybouse, peuvent engendrer des risques sur la vie aquatique (faune et flore).

Les eaux usées épurées sont valorisées en agriculture grâce à leur composition riche en matières organique et minérale. En effet, l'irrigation par ces eaux permet de limiter l'utilisation d'engrais et peut être utilisée pour tout type de cultures (maraîchages, forêts, golfs...) car le traitement est adapté à l'usage.

### 6.5.4. Valorisation et risques d'utilisation des boues de la station d'El Allélick, Annaba.

La valorisation des boues d'épuration en agriculture est une pratique connue. Elle permet le recyclage des éléments fertilisants tels que la matière organique, l'azote, le phosphore et de nombreux éléments minéraux pour la plante (Sommers, 1977; Bailly et al. 2004; Hussein et al. 2010). Les teneurs en macroéléments tels que N, P et K vont assurer une partie des besoins des plantes, ainsi, plusieurs auteurs ont montré que la croissance des plantes a été améliorée sensiblement après application de boues (Reed et al. 1991 ; Saruhan et al. 2010).

Les concentrations des macroéléments que l'on retrouve dans les Boues de la station d'El Allélick-Annaba, indispensables aux végétaux : Azote total (12.06 mg/l), le Phosphore total (01,63 mg/l), les Nitrates (04.67 mg/l) et l'Ammonium (05.45 mg/l) ont un impact positif sur la productivité des cultures résultant de ces teneurs. Et il toujours nécessaire d'en rajouter avec les engrais.

Les eaux épurées sont rejetées dans l'environnement et les boues peuvent être valorisées en agriculture, sous réserve de disposer de méthodes fiables permettant d'évaluer le risque sanitaire.

## **6.6. Conclusion.**

Les produits les plus préoccupants sont les nitrates et les dérivés halogénés, (Chlore, Brome, l'Iode et le Fluor...) parce qu'ils peuvent migrer en profondeur. La pollution azotée diminue en fonction de la profondeur de la nappe (moins de 30 m de profondeur).

D'une manière générale, le risque semble faible, même si chaque cas particulier doit être soigneusement étudié pour déterminer des facteurs de risques propres à chaque terrain. Il existe des cas où l'utilisation d'eaux épurées en agriculture est toujours préférable à un rejet direct dans la nappe, comme cela se fait dans certaines régions où les rejets sont impossibles à faire vers les cours d'eau.

Les rejets directs d'eaux épurées de la station d'El Allélick, Annaba peuvent poser des problèmes d'eutrophisation des Oueds, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu.

Cependant, l'existence de ce risque potentiel ne conduit pas à une interdiction de l'utilisation d'eaux épurées pour l'irrigation car il faudrait alors également interdire l'utilisation des eaux de surface et de certains produits phytosanitaires. Toutefois, il faut rester prudent, surtout vis-à-vis d'eaux épurées urbaines qui, dans certains cas particuliers, pourraient avoir des caractéristiques chimiques différentes et des concentrations en substances toxiques importantes.

Ce risque est à relativiser par rapport au risque bactérien, qui est bien plus considérable. Le problème des pesticides et des métaux lourds est en fait beaucoup plus préoccupant pour le recyclage des **Boues**, dans lesquelles se retrouvent la majorité des micro-

---

polluants. Nous pouvons citer pour finir Cauchi (1996) qui déduit que «les risques sanitaires induits par les micro polluants présents dans les eaux usées traitées apparaissent très limités.»

Les utilisations possibles des eaux épurées de la station d'El Allélick, Annaba en zone urbaine sont extrêmement nombreuses : l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux, le lavage de la voirie, les réservoirs anti incendies.

### Chapitre 6. Analyse statistique des données physico-chimiques des eaux usées brutes (entrée) et épurées (sortie) dans la station d'épuration d'El-Allélick, Annaba (période Juin 2015 et Mai 2016).

Nous avons utilisé l'approche statistique pour le traitement des données (mono-variée, bi-variée et multi-variée) en utilisant le logiciel XLStat sous Excel. La préparation des données se fait en présentant les variables en colonnes et les individus en lignes. Un aperçu sur les méthodes d'analyse statistique est présenté en **Annexe 1**.

#### 6.1. Traitement des données.

Les résultats de l'analyse physico-chimiques ont concerné les échantillons d'eau prélevés dans la station d'épuration d'El-Allélick, Annaba durant deux périodes Juin 2015 et Mai 2016. Les analyses d'échantillons d'eaux usées ont été effectuées au niveau du laboratoire de la Station et concernent les éléments suivants : C.E, pH, O<sub>2</sub> dissous, MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, Nt, Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.

#### 6. 2. Statistiques élémentaires.

Le tableau des statistiques (**tableau n°14**) est établi sur la base des données issues des analyses physico-chimiques des eaux usées avant et après traitement à la station El-Allélick, Annaba Les données des deux périodes (Juin 2015 et Mai 2016) ont été interprétées séparément.

**Tableau n° 14. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes (entrée) de la station El-Allélick, Annaba (Période Juin 2015).**

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	7,70	7,94	7,80	0,08
O <sub>2</sub> dissous (mg/l)	0,33	5,04	2,88	1,85
C.E (µS/cm)	1340,50	2560,00	1664,14	411,15
MES (mg/l)	186,00	315,50	259,00	49,62
DCO ( mg/l)	183,00	380,00	262,57	73,41
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	95,00	235,00	157,86	52,35
Nt (mg/l)	27,00	44,70	35,49	7,57
Pt (mg/l)	3,20	4,90	3,97	0,66
NH <sub>4</sub> (mg/l)	18,50	34,60	25,10	6,51
NO <sub>3</sub> ( mg/l)	0,53	1,93	1,10	0,55
NO <sub>2</sub> ( mg/l)	0,16	1,06	0,55	0,33

**Tableau n° 15. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées (sortie) de la station d'El-Allélick, Annaba (Période Juin 2015).**

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	7,84	8,05	7,91	0,07
O <sub>2</sub> dissous (mg/l)	7,04	8,15	7,64	0,33
C.E (μS/cm)	1364,00	1580,00	1469,86	74,56
MES (mg/l)	2,30	13,40	8,19	3,56
DCO (mg/l)	36,50	50,50	40,89	4,83
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	22,00	76,00	53,71	20,73
Nt (mg/l)	16,70	22,60	20,27	2,20
Pt (mg/l)	0,71	2,06	1,37	0,47
NH <sub>4</sub> (mg/l)	1,75	15,80	11,45	5,75
NO <sub>3</sub> (mg/l)	2,98	8,80	5,13	2,16
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,61	2,09	1,16	0,49

### 6.3. Analyse en composantes principales (ACP).

- 6.3.1. Juin 2015 : eaux usées (entrée) à la station d'El-Allélick, Annaba :

#### Calcul de la matrice de corrélation

La matrice de corrélation a été calculée pour les éléments physico-chimiques des échantillons collectés dans la station d'épuration d'El-Allélick, Annaba (tableau n°16).

**Tableau n° 16. Matrice de corrélation des éléments physicochimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées (entrée) de la station (Période Juin 2015).**

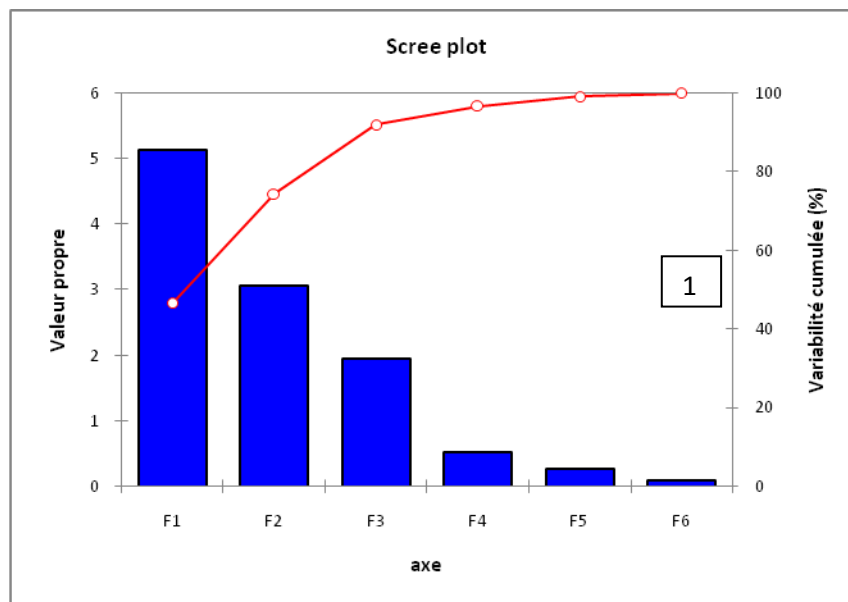
Variables	pH	O <sub>2</sub> dissous	C.E (μS/cm)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)
pH	1										
O <sub>2</sub> dissous	0,33	1									
C.E (μS/cm)	-0,60	-0,72	1								
MES (mg/l)	0,23	0,31	-0,57	1							
DCO (mg/l)	0,68	-0,07	0,04	-0,07	1						
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	0,36	-0,09	-0,47	0,74	0,24	1					
Nt (mg/l)	0,64	-0,34	-0,05	0,31	0,79	0,65	1				
Pt (mg/l)	0,49	-0,19	0,35	-0,22	0,80	-0,17	0,62	1			
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,37	-0,42	0,44	-0,04	0,80	0,09	0,77	0,91	1		
NO <sub>3</sub> (mg/l)	-0,48	0,26	-0,35	0,49	-0,82	0,24	-0,51	-0,87	-0,80	1	
NO <sub>2</sub> (mg/l)	-0,58	-0,28	0,03	0,36	-0,76	0,27	-0,27	-0,67	-0,51	0,83	1

### 6.3.1.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charges. Les deux premiers axes, qui ont été pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables, détiennent à eux seuls 74,34 % de l'information totale avec respectivement 46,56% pour l'axe F1 et 27,75% pour l'axe F2 (**tableau. n°17**), (**figure n° 29**).

**Tableau n°17. Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées (entrée) dans la station d'El-Allélick, Annaba (Période Juin 2015).**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	5,13	3,05	1,95	0,52	0,26	0,09
Variabilité (%)	46,59	27,75	17,70	4,70	2,40	0,86
% cumulé	46,59	74,34	92,04	96,74	99,14	100,00



**Figure n° 29. Valeurs Propres des facteurs de Charge.**

### 6.3.1.2. Cercle des corrélations et projection des individus.

Les cercles de corrélation ont été tracés sur le plan des facteurs F1-F2 (**figure n° 30**). Ils montrent l'existence de trois associations physico-chimiques à savoir :

- La première association, corrélée positivement avec le facteur F1, regroupe les paramètres suivants : DCO, DBO<sub>5</sub>, Pt, Nt et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ce sont les éléments qui représentent l'axe de la pollution Biologique. Cette association montre globalement une pollution d'origine humaine.

- La deuxième association est constituée des éléments suivants : O<sub>2</sub> dissous et matières en suspension (MES). Cependant son influence sur la pollution biologique est limitée par rapport à l'influence de la DCO et de la DBO<sub>5</sub>.
- La troisième association est constituée par les paramètres de pollution organique suivants : NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

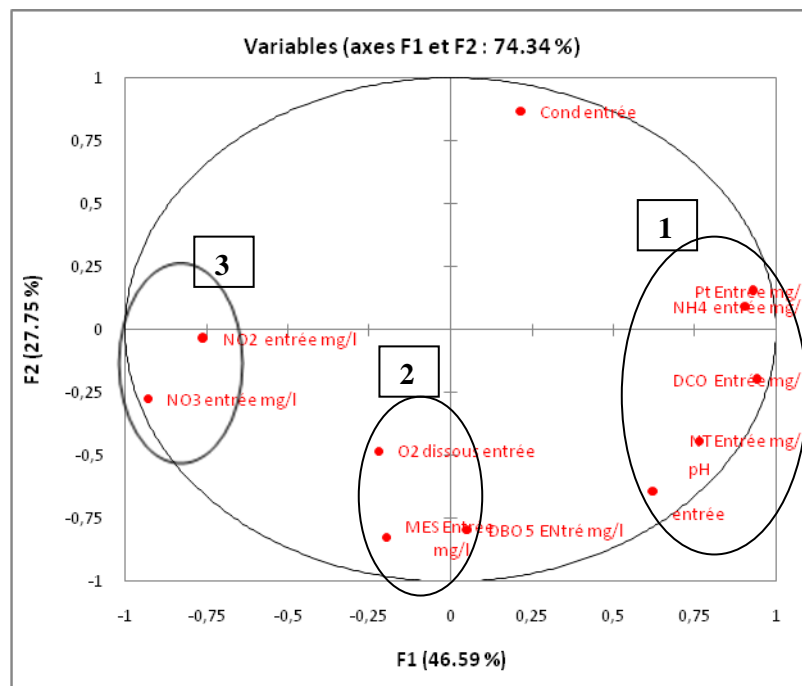


Figure n° 30. Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1-F2 des eaux usées brutes (entrée) à la station d'El-Allélick, Annaba (Période Juin 2015).

- 6.3.2. Juin 2015 : eaux usées épurées (sortie) de la station d'El Allélick, Annaba:

Tableau n° 18. Matrice de corrélation des éléments physicochimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées (Sortie) de la station (Période Juin 2015).

Variables	pH	O2 dissous	C.E (μS/cm)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)
pH	1										
O2 dissous	0,24	1									
C.E (μS/cm)	-0,29	-0,63	1								
MES (mg/l)	-0,05	-0,61	0,95	1							
DCO (mg/l)	-0,24	-0,77	0,80	0,85	1						
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	0,01	0,43	-0,49	-0,67	-0,80	1					
Nt (mg/l)	-0,01	0,33	-0,35	-0,51	-0,64	0,90	1				
Pt (mg/l)	-0,58	-0,03	-0,29	-0,51	-0,12	0,40	0,28	1			
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,15	0,68	-0,68	-0,80	-0,91	0,93	0,74	0,36	1		
NO <sub>3</sub> (mg/l)	-0,08	-0,48	0,55	0,70	0,85	-0,99	-0,90	-0,32	-0,94	1	
NO <sub>2</sub> (mg/l)	-0,15	-0,52	0,54	0,65	0,89	-0,95	-0,88	-0,13	-0,89	0,97	1

### 6.3.2.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charges, Les deux premiers axes, qui ont été pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables, détiennent à eux seuls 79,99 % de l'information totale avec respectivement 63,77 % pour l'axe F1 et 16,22 % pour l'axe F2 (tableau n°19) et (figure n°31).

Tableau n° 19. Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées (Sortie) dans la station d'El-Allélick, Annaba (Période Juin 2015).

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	7,01	1,78	1,25	0,54	0,25	0,16
Variabilité (%)	63,77	16,22	11,39	4,89	2,28	1,46
% cumulé	63,77	79,99	91,38	96,26	98,54	100,00

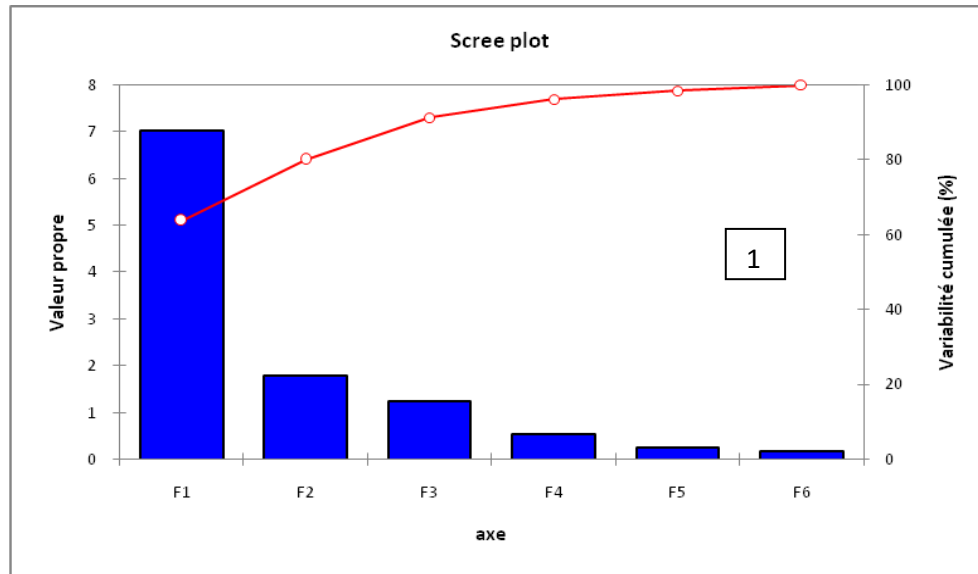
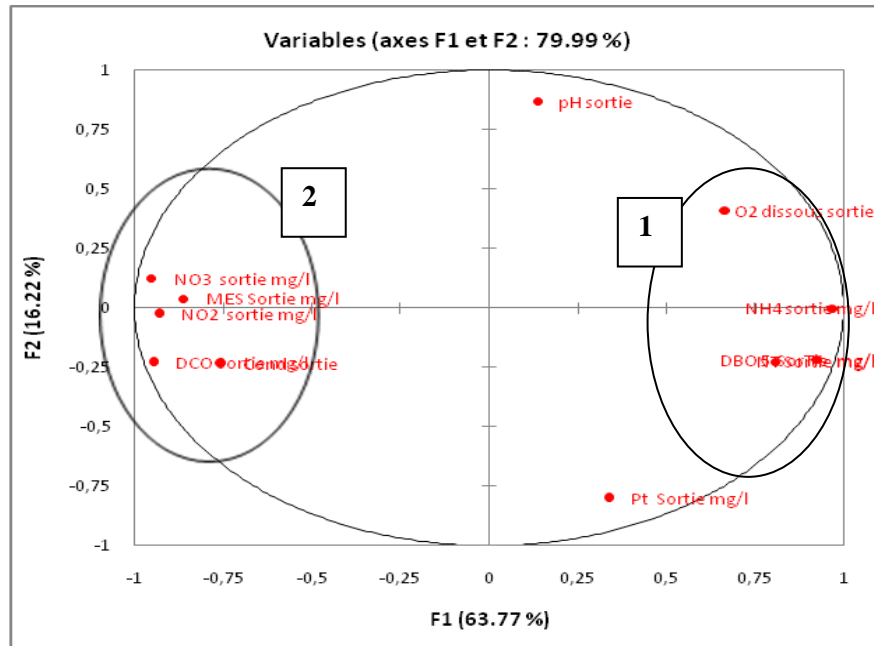


Figure n°31. Valeurs Propres des facteurs de Charge.

### 6.3.2.2. Cercle des corrélations et projection des individus.

Les cercles de corrélation ont été tracés sur le plan des facteurs F1-F2 (**figure n°32**). Ils montrent l'existence de deux associations physico-chimiques à savoir :

- La première association, corrélée positivement avec le facteur F1, regroupe les paramètres qui représentent l'axe de la pollution Biologique. Cette association montre globalement une pollution biologique dégradée avec des taux différents d'un paramètre à l'autre des eaux usées traitées.
- La deuxième association est constituée par les paramètres de pollution organique  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$ . On constate que les Nitrites sont fortement corrélés avec les Nitrates (0.97) et la DCO (0.89).



**Figure n° 32. Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1 F2 des eaux usées épurées (Sortie) de la station d'El-Allélick, Annaba (Période Juin 2015).**

### Conclusion,

Nous constatons qu'il y a une très forte charge polluante à l'entrée de la station. Cette charge est constituée d'une pollution organique, d'une pollution d'origine humaine et des matières en suspension MES.

La charge polluante est très largement réduite à la sortie, ce qui autorise le rejet des eaux dans l'Oued Méboudja.

L'analyse en composantes principales utilisée ici est une puissante méthode pour obtenir aussi bien des associations entre paramètres présentant des affinités entre eux mais aussi pour discriminer les pollutions d'origines différentes. Ainsi, on peut distinguer plusieurs groupes de pollution, organique d'origine humaine et des matières en suspension MES.

### 6.3.3. Mai 2016 : eaux usées (entrée) de la station d'El Allélick, Annaba :

#### Calcul de la matrice de corrélation

La matrice de corrélation a été calculée pour les éléments physico-chimiques des échantillons collectés dans la station d'épuration d'El- Allélick, Annaba (**tableau n° 20**).

**Tableau n° 20. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes (entrée) de la station d'El-Allélick (Période Mai 2016).**

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	7,47	7,68	7,55	0,11
O2 dissous (mg/l)	0,20	2,17	0,97	1,06
C.E (µS/cm)	780,00	1693,00	1193,33	462,58
MES (mg/l)	247,00	278,50	258,33	17,51
DCO (mg/l)	322,00	384,00	345,00	33,96
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	155,00	250,00	193,33	50,08
Nt (mg/l)	35,00	43,80	39,53	4,41
Pt (mg/l)	4,55	5,25	4,86	0,36
NH <sub>4</sub> (mg/l)	28,50	34,20	30,53	3,18
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0,68	1,17	0,86	0,27
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,64	0,94	0,75	0,17

**Tableau n° 21. Statistiques élémentaires des paramètr(es) physico-chimiques des eaux usées épurées (sortie) de la station d'El-Allélick, Annaba. (Période Mai 2016).**

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	7,33	7,47	7,42	0,08
O2 dissous (mg/l)	8,33	9,20	8,63	0,50
C.E (µS/cm)	802,00	896,00	845,67	47,35
MES (mg/l)	4,20	4,40	4,27	0,12
DCO (mg/l)	30,80	34,50	33,23	2,11
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	8,00	11,00	9,33	1,53
Nt (mg/l)	6,22	7,74	6,90	0,77
Pt (mg/l)	1,75	2,04	1,90	0,15
NH <sub>4</sub> (mg/l)	1,06	1,69	1,36	0,32
NO <sub>3</sub> (mg/l)	3,17	4,28	3,85	0,60
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,13	0,19	0,17	0,03

Tableau n° 22. Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées (entrée), station d'El Allélick, Annaba. (Période Mai 2016).

Variables	pH	O <sub>2</sub> Dissous	CE ( $\mu$ S/cm)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)
pH	1										
O <sub>2</sub> dissous	-0,52	1									
CE ( $\mu$ S/cm)	0,98	-0,67	1								
MES (mg/l)	0,99	-0,42	0,96	1							
DCO (mg/l)	0,96	-0,26	0,89	0,98	1						
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	0,93	-0,16	0,85	0,96	1,00	1					
Nt (mg/l)	0,92	-0,81	0,98	0,88	0,78	0,71	1				
Pt (mg/l)	0,99	-0,63	1,00	0,97	0,91	0,87	0,97	1			
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,97	-0,30	0,91	0,99	1,00	0,99	0,80	0,93	1		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,96	-0,27	0,90	0,99	1,00	0,99	0,79	0,92	1,00	1	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	-0,70	0,97	-0,82	-0,62	-0,48	-0,39	-0,92	-0,79	-0,51	-0,49	1

### Discussion.

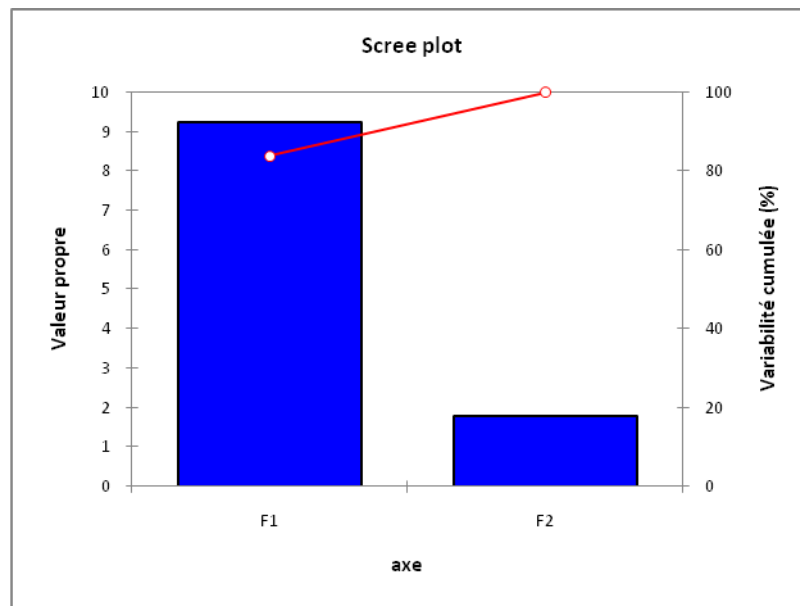
L'examen de cette matrice montre des corrélations significatives entre le pH et la conductivité, les MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, NT, Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et les NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. L'O<sub>2</sub> dissous est corrélé au NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. La Conductivité est liée positivement aux paramètres de la pollution (MES, NT, Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Les MES est lié significativement à la DCO, DBO<sub>5</sub>, Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La DCO, la DBO<sub>5</sub> et NT sont corrélés positivement à Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

#### 6.3.3.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charges, Les deux premiers axes, qui ont été pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables, détiennent à eux seuls 100% de l'information totale avec respectivement 83,89 % pour l'axe F1 et 16,11 % pour l'axe F2 (tableau n°23) et (figure n° 33).

**Tableau n° 23. Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées (entrée) dans la station d'El Allélick, Annaba, (Période Mai 2016).**

	F1	F2
Valeur propre	9,23	1,77
Variabilité (%)	83,89	16,11
% cumulé	83,89	100,00



**Figure n° 33. Valeurs Propres des facteurs de Charge.**

### 6.3.3.2. Cercle des corrélations et projection des individus.

Les cercles de corrélation ont été tracés sur le plan des facteurs F1-F2 (**figure n°34**). Ils montrent l'existence d'une seule association physico-chimique à savoir :

- Une association corrélée positivement avec le facteur F1 et regroupant les éléments suivants : Nt, Pt,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , DCO,  $\text{DBO}_5$ , MES, Ce sont des éléments qui représentent l'axe de la pollution biologique et une pollution par les MES. Cette association montre également et globalement une pollution d'origine humaine.

Nous remarquons que les éléments Nt, Pt,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , DCO,  $\text{DBO}_5$ , MES, CE, et pH sont sur la circonférence du cercle. La signification de ces derniers est assez importante et permet de dire que l'axe F1 est le plus minéralisé.

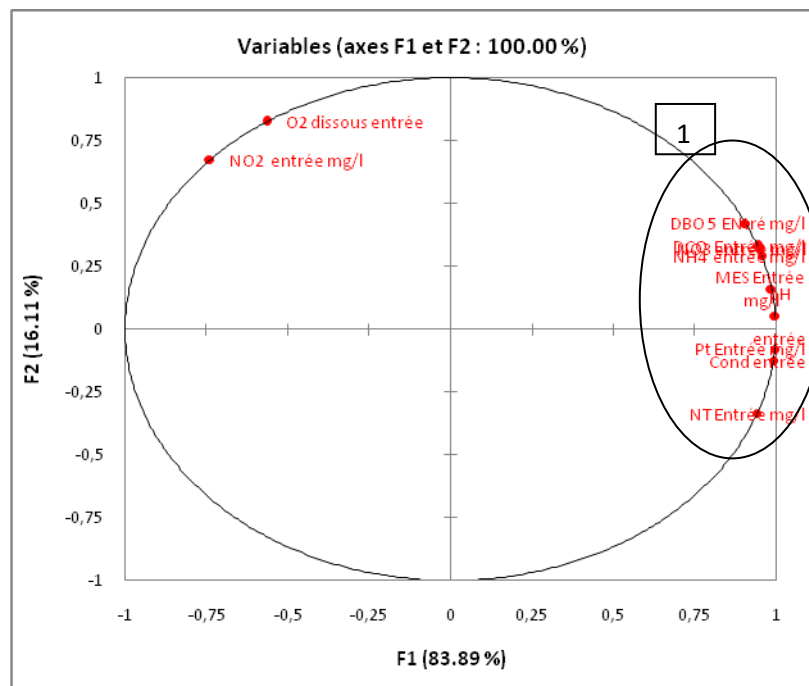


Figure n° 34. Cercles de corrélation sur le plan des facteurs F1-F2 des eaux usées (entrée) à la station d'El Allélick, Annaba (Période Mai 2016).

## 6.3.4. Mai 2016 : eaux usées (sortie) de la station d'El Allélick, Annaba :

Tableau n° 24. Matrice de corrélation des éléments physico chimiques calculés sur l'ensemble des échantillons des eaux usées (sortie) (Période Mai 2016).

Variables	pH	O <sub>2</sub> Dissous	CE ( $\mu$ S/cm)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	NT (mg/l)	Pt (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)
pH	1										
O2 Dissous	0,59	1									
CE ( $\mu$ S/cm)	-0,01	-0,81	1								
MES (mg/l)	0,38	-0,52	0,92	1							
DCO (mg/l)	-0,59	-1,00	0,81	0,52	1						
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	-0,89	-0,17	-0,44	-0,76	0,17	1					
Nt (mg/l)	-0,98	-0,74	0,21	-0,19	0,74	0,78	1				
Pt (mg/l)	-0,15	-0,89	0,99	0,86	0,89	-0,31	0,35	1			
NH <sub>4</sub> (mg/l)	-0,85	-0,08	-0,52	-0,81	0,08	1,00	0,73	-0,39	1		
NO <sub>3</sub> (mg/l)	-0,48	-0,99	0,88	0,63	0,99	0,04	0,65	0,94	-0,05	1	
NO <sub>2</sub> (mg/l)	-0,41	0,49	-0,91	-1,00	-0,49	0,78	0,22	-0,84	0,83	-0,60	1

**Discussion.**

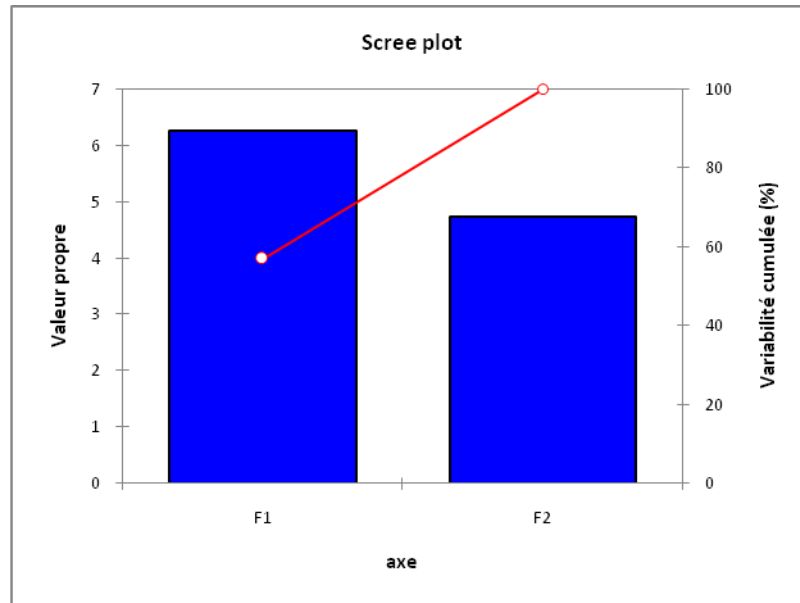
L'examen de cette matrice montre des corrélations significatives négatives entre le pH et la DCO, la DBO<sub>5</sub>, le NT et le NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. L'O<sub>2</sub> est très lié négativement à la DCO, Pt et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La conductivité est fortement liée au Pt, DCO, MES. La DCO est lié positivement au NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La DBO<sub>5</sub> est corrélée au NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**6.3.4.1. Diagonalisation de la matrice de corrélation.**

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charges, Les deux premiers axes, qui ont été pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables, détiennent à eux seuls 100% de l'information totale avec respectivement 56,95 % pour l'axe F1 et 43,05% pour l'axe F2 (**Tableau n°25**), (**Figure n° 35**).

**Tableau n°25. Poids factoriel des paramètres physicochimiques des eaux usées (sortie) dans la station d'El Allélick (Période Mai 2016).**

	F1	F2
Valeur propre	6,26	4,74
Variabilité (%)	56,95	43,05
% cumulé	56,95	100,00



**Figure n° 35. Valeurs Propres des facteurs de Charge.**

#### 6.3.4.2. Cercle des corrélations et projection des individus.

Les cercles de corrélation ont été tracés sur le plan des facteurs F1-F2 (**figure n° 36**). Ils montrent l'existence de deux associations physico-chimiques à savoir :

- La première association, corrélée positivement avec le facteur F1 regroupent les éléments suivants : Pt, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, DCO, MES, CE. Ces éléments représentent l'axe de la pollution Biologique
- La Deuxième association est constituée par les éléments suivants : Nt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et DBO<sub>5</sub>. On constate que l'Ammonium a une plus forte corrélation avec la DBO<sub>5</sub> (1.00) et avec l'Azote total (0.73).

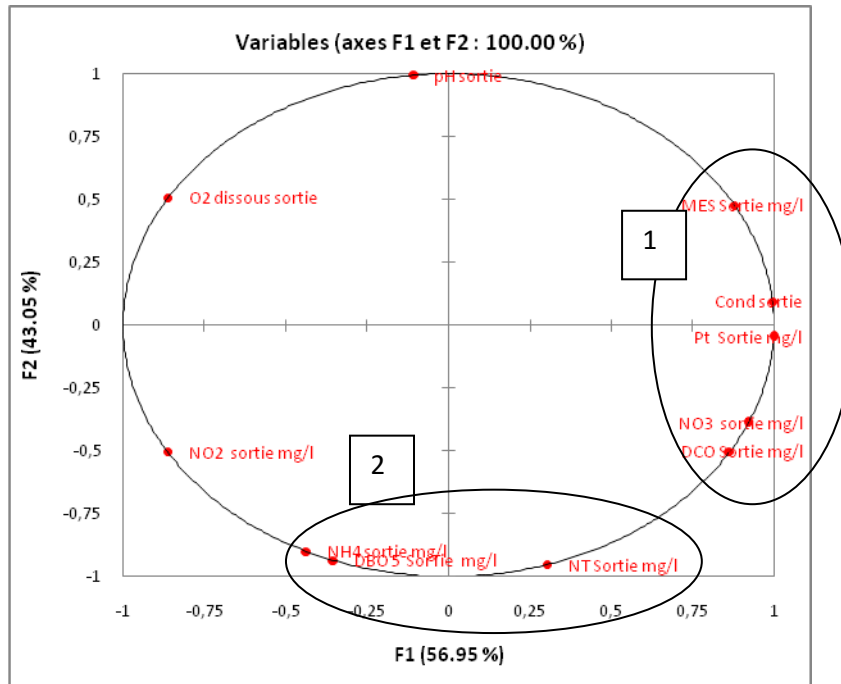


Figure n° 36. Cercles de corrélations sur le plan des facteurs F1- F2 des eaux usées (sortie) de la station d'El Allélick, Annaba (Période Mai 2016).

### Conclusion.

D'une manière générale, les résultats de l'ACP entrée des eaux usées brutes à la station d'El Allélick, Annaba montre un groupe formé par la DCO, DBO<sub>5</sub>, Pt, Nt et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ce sont les éléments qui représentent une origine anthropique. Le deuxième groupe est constitué par l'O<sub>2</sub> dissous et les matières en suspension MES. Le Troisième groupe est constituée les paramètres de la pollution organique.

A la sortie de la station d'El Allélick, Annaba, le traitement statistique par ACP montre un premier groupe dédié à la pollution Biologique dégradée. Un deuxième groupe en relation avec la pollution organique NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

La réutilisation des eaux usées épurées admet deux options complémentaires, le traitement puis la réutilisation des eaux usées traitées. Afin de montrer l'intérêt de ce projet de la réutilisation des eaux usées de la station d'épuration d'El Allélick, Annaba, notre travail de recherche a porté sur l'optimisation, le traitement et la qualité des eaux usées notamment en éléments nutritifs, la Boue et les métaux lourds, ainsi que l'impact de leur réutilisation dans l'environnement.

La station d'épuration des eaux usées de la région d'Annaba (El Allélick) génèrent des volumes considérables d'eau usées épurées déversées directement dans l'Oued Seybouse via l'Oued Seybouse (confluence) puis vers la mer Méditerranée.

Notre étude nous a permis d'apprécier la qualité des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métaux lourds de ces eaux usées épurées pour une optimisation agricole et en s'assurant du niveau de conformité de ces eaux avec les normes Algérienne (2012), OMS (1989) et FAO 1985.

L'observation des résultats des analyses mesurées montre que :

- Le pH mesuré dans les eaux usées à l'entrée (7.71) et à la sortie (7.77) de la station d'El Allélick se situent dans la fourchette des limites de rejets directs et des normes Algériennes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ). Le bon maintien de ce pH dépend donc de la présence des éléments nutritifs dans ces eaux usées épurées.
- La teneur de l'oxygène dissous mesurée dans les eaux usées de la station d'El Allélick, Annaba est égale, à l'entrée (1.49 mg/l) donc de qualité médiocre selon les normes (1-2 mg/l) et à la sortie de (8.13 mg/l) de qualité très bonne selon les normes ( $> 5$  mg/l).
- La conductivité enregistrée des eaux usées urbaines Algériennes (30 mg/l). (1307,85  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et à la sortie (1145  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la station d'El Allélick se situe dans l'intervalle des normes de rejets directs et des normes Algériennes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (700-3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Une forte minéralisation naturelle (sols) et une présence de polluants dans ces eaux usées épurées augmenteront la teneur en conductivité.

- Les MES des eaux usées à l'entrée (252.98 mg/l) dépassant la norme Algérienne (30 mg/l) et à la sortie (06.31 mg/l) de la station d'El Allélick, Annaba et celle de l'OMS (70 mg/l) pour l'irrigation ne dépassant pas les normes. Les MES jouent un rôle majeur dans l'environnement, elles absorbent et transportent de nombreux polluants et contribuent à leurs transferts. En très grande quantité dans ces eaux usées épurées, ces MES constitueront une pollution solide.

- La DBO<sub>5</sub> mesurée dans les eaux usées à l'entrée (158.28 mg/l) de la station d'El Allélick dépassant la fourchette habituelle des eaux usées urbaines Algériennes (30 mg/l). et à la sortie (31.81 mg/l) à la limite des normes urbaines Algériennes (30 mg/l). La diminution des concentrations de la DBO<sub>5</sub> à la sortie de ces deux stations s'interprète par la décantation de la matière organique et l'enrichissement des bassins en oxygène.

- La DCO enregistrée dans les eaux usées à la sortie (287.72 mg/l) dépassant les normes Algériennes (90 mg/l) et à la sortie (39.21 mg/l) sont incluses dans les normes Algériennes. La diminution de la concentration de la DCO à la sortie de ces deux stations s'interprète également par la décantation de la matière organique et l'enrichissement des bassins en oxygène. Cette DCO est donc représentative de la majeure partie des composées organiques mais également des sels minéraux oxydables (Sulfate, chlorure.....).

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> à la station d'El Allélick, Annaba est inférieur à 2, donc l'effluent est biodégradable.

- La concentration de l'Azote total mesurée dans les eaux usées de la station d'El Allélick à l'entrée est de (38,78 mg/l) dépassant légèrement les normes Algériennes (30 mg/l). Par contre à la sortie elle est égale à (12.06 mg/l) ne dépassant pas les normes admises.

- La teneur des nitrites dans les eaux usées à l'entrée (0.68 mg/l) et à la sortie (0.72 mg/l) ne dépassant pas les normes admises par la FAO (1 mg/l). Dans l'eau les nitrites sont toxiques pour les humains (problèmes respiratoires, affaiblissement...), c'est pour cela que la concentration ne devrait pas dépasser 1 mg NO<sub>2</sub>/l dans les rejets de station d'épuration.

- La concentration des NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des eaux usées à l'entrée (29.08 mg/l) et à la sortie (5.45 mg/l) dépassant la valeur admissible pour les eaux d'irrigation selon l'OMS (2 mg/l). Cela est dû

probablement à un processus de dégradation incomplet de la matière organique lié à une insuffisance oxygénation au niveau du bassin d'aération

- Les teneurs des Nitrates dans les eaux usées de la station d'El Allélick à l'entrée est égale à (0.91 mg/l), et à la sortie (4.67 mg/l) ne dépassant pas les normes de l'OMS, 1989 (50 mg/l).

- La concentration des phosphates ( $\text{PO}_4$ ) dans les eaux usées à l'entrée (4.33 mg/l) et à la sortie (1.63 mg/l) ne dépassant pas les normes destinées à l'irrigation. Notons que les phosphates sont des facteurs limitant pour lequel il est possible de jouer efficacement pour réduire l'eutrophisation.

- La concentration en coliformes totaux des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est égale à ( $7 \times 10^5$  UFC/100 ml) et supérieure à la norme recommandée par l'OMS qui est de  $< 2.2$  UFC /100 ml.

- Les concentrations en coliformes fécaux des eaux usées traitées des stations d'El Allélick, Annaba ( $2 \times 10^3$  UFC/100 ml) dépassent largement les normes Algériennes et la concentration limite ( $< 1000$  UFC/100 ml) recommandée par l'OMS pour irrigation de cultures destinées à être consommées crues.

- Les teneurs en streptocoques fécaux des eaux usées traitées des stations d'El Allélick, Annaba ( $3 \times 10^2$  UFC/100 ml) ne dépassant pas les normes données par l'OMS ( $< 1000$  UFC /100 ml) destinées à l'irrigation.

- La concentration en plomb (Pb) des eaux usées traitées de la station d'El Allélick, Annaba est de (0.102 mg/l), elle est comprise dans les normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation, à court (10 mg/l) et à long terme (5 mg/l).

- La concentration en Manganèse (Mn) des eaux usées traitées des stations d'El Allélick, Annaba est de (0,12 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation, à court (10 mg/l) et à long terme (0.2 mg/l). Il peut provenir de dépôts de déchets industriels et en plus grande quantité, il peut être indésirable.

- La teneur en Chrome totale (Cr) des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est de (0.5 mg/l) dépassent largement les normes Algériennes et de la FAO destinées

à l'irrigation à long terme (0.1 mg/l), mais elles sont dans la fourchette des valeurs admises à l'irrigation à court terme (1 mg/l). Sous la forme chrome VI et chromates ( $\text{CrO}_4$ ), il est extrêmement toxique.

- La concentration en Sélénium (Se) des eaux usées traitées des stations d'El Allélick, Annaba est de (0.118 mg/l) dépassent les normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation, à court et à long terme (0.02 mg/l). L'agriculture n'augmente pas seulement la présence de Sélénium dans le sol, mais aussi les concentrations en sélénium dans les eaux de surface car le Sélénium est transporté dans les eaux d'irrigation.

- La teneur en Aluminium (Al) des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est de (2.5 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (20 mg/l) et à long terme (5 mg/l). S'il est présent de plus en plus dans les eaux, c'est qu'il provient des déchets ménagers ou bien du sulfate d'alumine utilisé dans les stations de traitement des eaux.

- La concentration en Cadmium des eaux usées traitées de la station d'El Allélick, Annaba est de ( $< 0.099$  mg/l) dépassant le seuil des valeurs des eaux destinées à l'irrigation à long terme (0.01mg/l) recommandé par la FAO et les normes Algériennes, alors qu'elles sont à la limite des valeurs admises à court terme (0.05 mg/l). Les teneurs du Cadmium supérieures aux normes proviennent des rejets industriels.

- La teneur en Arsenic des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est de (0.0 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (2 mg/l) et à long terme (0.1 mg/l).

-La concentration en Cuivre des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est de (0.0 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (5 mg/l) et à long terme (0.2 mg/l).

- La teneur en Fer des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est de (0.44 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (20 mg/l) et à long terme (5 mg/l).

- La concentration en Zinc des eaux usées traitées au niveau des stations d'El Allélick, Annaba est de (0.0 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (10 mg/l) et à long terme (2 mg/l).

Les rejets des eaux usées épurées des stations d'épuration d'El Allélick, Annaba vers la mer Méditerranée via respectivement l'Oued Méboudja et l'Oued Seybouse peuvent causer :

- Des problèmes environnementaux importants tels que, l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques causée par l'excès de l'Ammoniac, la toxicité en Fer et en Manganèse peut menacer la faune et la flore aquatique mettant ainsi en cause la valeur écologique des milieux.
- Des risques sanitaires, par la transmission des éléments bactériologiques (coliformes fécaux et coliformes fécaux) qui peuvent être à l'origine des affections par l'exposition aux éléments en cas de réutilisation de ces eaux épurées en irrigation.

## Perspectives

Comme perspectives à ce travail de recherche qui constitue le suivi de la qualité des eaux usées épurées, d'autres recherches plus poussées pourront permettre :

- 1°- D'améliorer la qualité microbienne et chimique de ces eaux usées épurées par un traitement tertiaire.
- 2°- Opter pour un système d'irrigation localisée surtout pour l'arboriculture ou recourir à l'irrigation gouttes à gouttes conduisant à une réduction considérable des agents pathogènes présents dans les eaux usées.
- 3°- La mise en œuvre d'analyses périodiques pour voir le comportement des polluants afin de définir les zones vulnérables surtout dans le cadre de l'irrigation des terres agricoles.
- 4°- En dernier, rationaliser l'usage des ressources en eau conventionnelle comme alternative pour la préservation de l'environnement.

## Références Bibliographiques

**Agence de Bassin Hydrographique Constantinois Seybouse-Mellègue., 2009.** Pollution de l'oued Seybouse- Diagnostic et solutions-", journée de la pollution du bassin de la Seybouse, Guelma, le 2 Février 2009.

**Asano T., (1998).** Waste water reclamation and reuse Water quality management library., 1475 p.

**Ayers RS., Westcot D W., 1989.** Water quality for agriculture, Bulletin FAO irrigation et dedrainage, No. 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Rév. 1., 174 pp.

**AFNOR., 1994.** French standardization agency, Code of Conduct, AFNOR Water Quality 1994. NFT Standard 90-012., 25p.

**Belaid N ., 2010.** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'ElHajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques:, L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax., 236 p.

**Bedbabisa S., Ben Rouinab B., Boukhrisa M., 2014.** Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate: Giuseppe Ferrara Journal of Environmental Management 133/45-50 p.

**Bailly, C., Leymarie, J., Lehner, A., Rousseau, S., Côme, D. and Corbineau, F.(2004)** Catalase activity and expression in developing sunflower seeds as related to drying. Journal of Experimental Botany 55, 475–483.

**Bouhdid H., et Boukeloua R., 2007.** Le chimisme des eaux de l'amant vers l'aval de la vallée de la Seybouse, mémoire d'ingénieur d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba., 62 p.

**Baumont S., Camard J-P., Lefranc A., Franconi A., 2004.** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220 p.

**Bechac JP., et Boutill P., 1987.** Traitement des eaux usées, 2ème édition. Ed. Eyrolles..., 281p.

**Chellé F., Dellale M., Dewachter M., Mapakou F., Vermey L. 2005.** L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office international de l'eau., 15 p.

**Cauchi, Hyvrard ; Nakache ; Schwartzbrod ; Zagury, Baron ; Carre ; Courtois ; Denis ; Dernas ; Larbaigt ; Derangere ; Martigne, Seguret, (1996).** Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118.

**Djemil W and al 2013.**, The impact of the quality of wastewater and purified on the environment. Case of STEP Allalik, Annaba, Proceeding of the International Seminar on Hydrogeology and Environment SIHE 2013, Ouargla, Algeria., 24 p.

**Desjardins R., 1997.** Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Ecole polytechniques de Montréal, Canada., 303 p.

**Debieche T., 2002.** Evaluation de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse pleine de la Seybouse Nord-Est Algérien. Th. Doct. Univ. De Franche Compté., 199 p.

**Djabri L., Hani A., Mania J., Mudry J., 2000.** Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est algérien). Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, France., 56 p.

**El Haiti H., 1991.** Eléments de réponse pour une meilleure maîtrise des pollutions et gestion des eaux usées à Fès. Thèse de Doctorat. Université Moulay Ismaïl, Meknes, Maroc., 132 p.

**El OualiLalami A., Merzouki M., El Hillali O., Maniar S., et Ibsouda Koraichi S., 2011.** Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences. Larhyss Journal, 09., 55 – 72 pp.

**Faby J.A., Brissaud F., 1997.** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau., 76 p.

**Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques ; aide-mémoire.Ed. Techniques etdocumentations. Lavoisier.Paris., 220 p.

**Guessir, H., Handoufe A., 1998.** Étude de l'impact de l'irrigation avec les eaux usées brutes sur le sol dans la région de Sidi-Bennour (Maroc) El Kbir Actes Inst. Agron. Veto (Maroc), Vol. 18 (4): 213-225P p.

**Guasmi I., Djabri L., Hani A. et Lamouroux C., 2006.** Pollution des eaux de l'Oued Medjerda par les nutriments. Larhyss Journal, 05, 113 – 119 pp.

**Hani A., 2003.** Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropique : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen, thèse de doctorat d'état, Es. Science, Université d'Annaba, 226 p.

**Harrat N., et Achour S., 2010.** Pollution physicochimique des eaux de barrage de la région d'El Tarf, impact sur la chloration. Larhyss Journal, 8, 47-54 p.

**Hilly J., (1957).** Etude géologique du massif de l'Edough et du cap de fer (Est constantinois) (Thèse, Nancy). Mém. Fac. Sc. Nancy, n°125, 100 Fig. Nancy.,408 p.

**Hartani T., 2004.,** La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie, Projet INCO-WADEMED, Actes du S'eminare, Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat, du 19 au 23 avril 2004.

**Joleaud L., 1936.** Etude géologique de la région de Bonne et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géologie de l'Algérie 2 e série, 12 ., 200 p.

**Khelfaoui H., 2008.** Impacts des rejets industriels sur les eaux souterraines. Cas de la région de Berrahal (Algérie), mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 141 p. Magister, IST, Université d'Annaba, 105 p.

**Lahondère JC 1987.** Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans leur cadre structurale. Thèse de doctorat d'état, science. Université Paul Sabatier, Toulouse France. 236 p.

**Mohamed Salah Belksier Salah., Chaab and Fella Abour., 2016.,** The hydrochemical quality of surface water in the Oued Righ region and its vulnerability to pollution. Rev. Sci. Technol., Synthesis 32: 42-57p.

**Masséna P A., 2001.** Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office internationalde l'eau, 14 p.

**Mehanned and al 2014.** Estimation of the bacterial pollution load of the waters of two tributaries (Mikke and Mellah) and its impact on quality microbiological water of the Sidi Chahed dam (Morocco). IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) ISSN (e): 2250-3021, ISSN (p): 2278-8719 Vol. 04, Issue 09 (September 2014), || V3 ||, 01-10 p.

**Muamar A J., Tijane M., ELAriqi S., El Housni A., Zouahri A., Bouksaim M., Mater J. 2014.** Assessment of the impact of wastewater use on soilproperties ; Environ. Sci. 5 (3) Al-Jaboobi et al. ISSN : 2028-2508 CODEN: JMESCN.,747-752 pp.

**R.S. Ayers Westcot DW., (1976)** water quality in agriculture Bull FAO N ° 29 Rome 81 p.

**René C., 1968.** La pollution des eaux. 2ème édition. Presses universitaires de France. 128 p.

**Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Edi science international, Paris, 689 p.

**Rodier J. et al. (2009).** L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. p1579.

**Rodier J. 1984 ., Analyse de l'eau:** Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. Ed. Dunod Bordas. Paris, 7<sup>ème</sup>ed, 1365 p.

**Singh A., Agrawal M., 2012.** Effects of Waste Water Irrigation on Physical and Biochemical Characteristics of Soil and Metal Partitioning in Beta vulgaris Published online: 25 November 2012, NAAS (National Academy of Agricultural Sciences)., 3 p.

**Saruhan I, Tuncer C, Akca I (2010).** Development of Green Shield Bug (*Palomena prasina* L., Heteroptera: Pentatomidae) In Different Temperatures Zemdirbyste-Agriculture, 97(1): 55-60

**Vila J.M., 1966 a.** Aperçu sur la stratigraphie de la terminaison orientale de la chaîne calcaire en Algérie. C.R. Somm. Soc. Géol. Fr. p. 181-182 p.

**Vila J.M., 1966 b).** Sur la présence d'un flysch Allochtone tithonique et néocomien dans la région située entre Bône et Guelma (Est de la chaîne Numidique, Algérie. C. R. Somm. Soc. géol. Fr, 1 fig. Paris., p 232.

**Vila J.M. (1980).** La chaine Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens, Thèse de Doctorat es science naturelle, Université de Pierre Marie Curie. (Paris 16<sup>ème</sup>) France 296 p.

**Vaillant JR., 1974.** Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413 p.

**W Jun-feng., W Gen-xu., W Hua., 2006.** Treated wastewater irrigation on soil, crop and environment: Waste water recycling in the loess area of China, Received 21 November; revised 16 January 2007; accepted 16 April 2007.,11 p.

**Xanthoulis D., 1993.** Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. CEBEDOC, 27-32 p.

## Liste des abréviations

- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization).
- FAO** : Food and Agricultural Organization (Organisation des Nations Unies).
- JORADP** : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.
- ISO** : International Society Organisation.
- DMRE** : Direction de Mobilisation des Ressources en Eaux/ MRE.
- STEP** : Station d'épuration.
- EU**: Eaux Usées.
- EUE** : Eaux Usées Epurées.
- CE** : Conductivité Électrique.
- O<sub>2</sub>** : oxygène dissous.
- DBO<sub>5</sub>** : Demande biochimique en oxygène en cinq jours.
- DCO** : Demande chimique en oxygène.
- MES** : Matière en suspension.
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**: Azote ammoniacal.
- NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**: Nitrite.
- NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Nitrate.
- Nt** : Azote total.
- Pt**: Phosphore total.
- CT** : Coliformes totaux.
- CF**: Coliformes fécaux.
- ACP** : Analyse en composantes principales.
- Al** : L'Aluminium.
- Ar** : L'Arsenic .
- Cr** : Le Chrome totale.
- F** : Le Fer.
- Sé**: Le Sélénium.
- Zn** : Le Zinc.
- Cd** : Le Cadmium.
- Cu<sup>+</sup>** : Le Cuivre.
- Pb<sup>+</sup>** : Le Plomb.
- Mn<sup>+2</sup>** : Le Manganèse.

## Annexe N° 1: Méthodes statistiques utilisées

Trois types d'approches statistiques (monovariée, bivariée et multivariée) ont été utilisés pour le traitement statistique de données.

### Analyse de données mono variée

Ce traitement permet de déterminer les paramètres statistiques de la distribution des variables étudiées (paramètres de position centrale et de dispersion), et de résumer graphiquement les caractéristiques essentielles de la distribution de chaque variable. Cette analyse permet déjà, d'évoquer l'homogénéité ou l'hétérogénéité des données.

### Analyse de données bi variée

Le traitement statistique bivarié consiste à étudier deux variables aléatoires simultanément et de déterminer la relation qui existe entre eux. Il existe plusieurs paramètres quantifiant cette relation. Le coefficient de corrélation linéaire simple est le paramètre le plus utilisé. Il est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\rho = \text{COV}(x, y) / \sigma_x \sigma_y$$

Ou  $\rho$  : coefficient de corrélation simple de la population ;

x et y : variables ;  $\sigma_x$  et  $\sigma_y$  : écart type des variables x et y ;

Cov(x, y) : covariance de variables x et y ;

Rappelons que  $\text{cov}(x, y) = E(xy) - E(x).E(y)$ , il est estimé par:

$$R_{x/y} = \frac{\overline{XY} - \bar{X}\bar{Y}}{S_x \cdot S_y}$$

Avec  $\bar{X}$  et  $\bar{Y}$  : teneurs moyennes des variables X et Y ;

$S_X$  et  $S_Y$  : écarts types de l'échantillon statistique des variables X et Y.

Les coefficients de corrélation linéaires simples peuvent être regroupés dans un tableau récapitulatif appelé "**matrice de corrélation**". Notons que la valeur d'un coefficient de corrélation varie entre -1 et +1.

La signification de ce dernier dépend du nombre d'individus utilisés pour son calcul. Une façon empirique de calculer la signification c'est de calculer la valeur de :

$$R_{signif} = \frac{2}{\sqrt{n-1}}$$

Où n est le nombre des données utilisées.

### Analyse de donnée multi variée (Analyse en Composantes Principales ACP)

L'analyse des données multivariée désigne l'ensemble des méthodes, qui permettent de collecter, d'organiser, d'analyser et de présenter les données. Ces méthodes utilisent des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogènes, des liens entre individus et variables, des ressemblances ou des différences entre variables et surtout de représenter les données initiales d'un Tableau R(n,p) par un nombre plus petit sans perdre l'information.

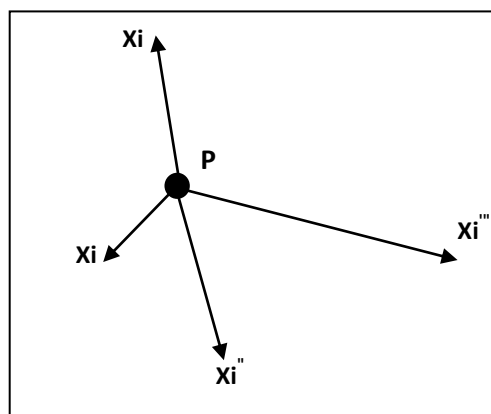
En ACP, ce qui importe c'est la forme du nuage des points par rapport aux axes (droites) qui passent par le centre de gravité du nuage. Il s'agit donc de rechercher les droites qui respectent au mieux l'ensemble des carrés des distances entre couples : C'est celles qui passent par le centre de gravité. D'où la nécessité de procéder à un changement de repère en centrant les variables de la matrice de données initiales. Si de plus les unités des variables sont différentes alors il est préférables de les réduire pour supprimer l'effet unité c'est-à-dire échelle

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - \bar{r}_j}{\sqrt{n} \cdot \sigma_j}$$

Ainsi après cette transformation (changement), la matrice d'inertie ne serait autre que la matrice de corrélation linéaire simple:  $C=X^T X$ .

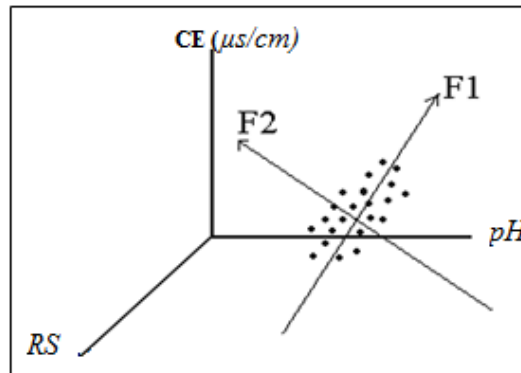
On appelle inertie du point N(I) par rapport au point P ou l'expression suivant:

$$InP(I) = \sum_{i=1}^n m_i \|X_i - P\|^2$$



Représentation géométrique d'inertie des points Xi (i=1 à n) par rapport au point P.

Après le calcul de C, il est nécessaire de calculer l'inertie du nuage de point dans les principaux axes d'allongement désignés par  $F_i$  ( $i=1$  à  $N$ ) en diagonalisant – c'est à dire en recherchant les premières valeurs propres (variances) et les vecteurs propres correspondants.



Représentation d'un nuage de points et les principaux axes d'allongement (Axes factoriels).

La diagonalisation de la matrice C (matrice d'inertie) permet d'obtenir les p vecteurs propres  $U_\alpha$  et les p valeurs propres  $\lambda_\alpha$ . Le vecteur  $U_\alpha$  est connu par ces coordonnées dans l'espace  $R^p$ . Les coordonnées des points  $X^i$  sur les axes factorielles qui sont obtenus par:

$$F_\alpha(i) = X^i U_\alpha$$

$$F_\alpha(i) = \sum_{j=1}^k U_{\alpha j} X_{ij}$$

$F_\alpha(i)$  est le facteur de rang  $\alpha$  associé à l'individu  $i$  :  $F_\alpha(i)$  est la coordonnée de l'individu (échantillon)  $i$  sur l'axe factoriel  $U_\alpha$ . Ce dernier a autant de composantes que de variables  $j$ . Dans la pratique l'inertie expliquée par l'axe factoriel :

$$T_\alpha = \frac{\lambda_\alpha}{\ln(I)} = \frac{\lambda_\alpha}{\sum_{\alpha=1}^p \lambda_\alpha}$$

Où  $\ln(I)$  est l'inertie totale du nuage de points.

Généralement les résultats d'une ACP sont représentés sous forme graphique.

Tableau : Exemple de facteurs de charge

	Fact. 1	Fact. 2
PH	0,36	0,79
RS mg/l	0,42	0,04
Ce µs/cm	0,89	0,09
Sal ‰	0,8	0,02
Ca <sup>++</sup> mg/l	0,85	-0,1

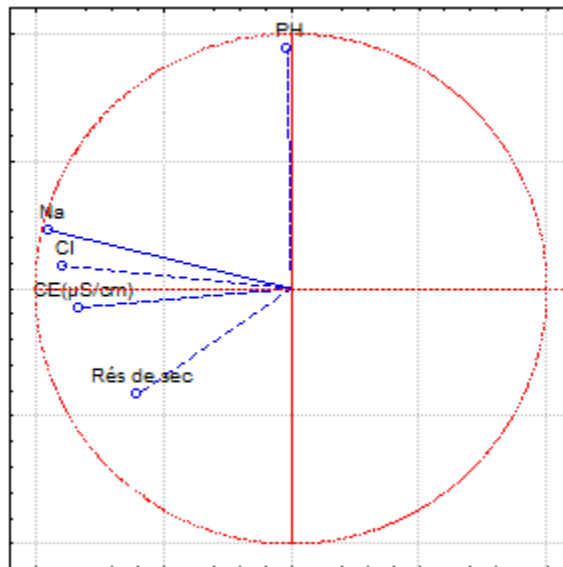


Fig : Exemple d'une représentation des variables sur le plan des facteurs de charge d'une ACP normée.

Les facteurs des individus (facteur score) sont les coordonnées des individus sur les axes factoriels représentation dans  $R^p$  – Leur calcul est effectué à l'aide de la formule suivante :

$$[Fsc] = [X] \times [F]: F_{sc1} = a_{F1}CE + b_{F1}pH + c_{F1}Rs.....$$