



لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

التعليم
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

-
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

SPECIALITE: BIOLOGIE
OPTION : TOXICOLOGIE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE DOCTORAT L.M.D

Intitulée

**Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la
station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon
« *Allium cepa* ».**

Presentée par: M. BEDOUH Yazid

Membre de Jury:

Dr. BRINIS. L	(Professeur)	Président	Universié de Annaba
Dr. BEKHOUCHE. F	(Professeur)	Directeur de thèse	Universié de Annaba
Dr. MEKSEM. L	(Professeur)	Examineur	Universié de Annaba
Dr. FADEL. D	(Professeur)	Examineur	Universié de Souk Ahras
Dr. MEDJEZRI. L	(M.C.A)	Examineur	Universié de Skikda
Dr. GRARA. N	(M.C.A)	Examineur	Universié de Guelma

Année universitaire: 2013/2014

Remerciements

Mes vifs remerciements vont à Monsieur BRINIS Louhichi Professeur à l'université d'Annaba pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury, pour son aide et ses conseils. Ses encouragements ont eu un effet positif quant à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à Madame Bekhouche Fatiha Professeur à l'université d'Annaba, ma directrice de recherche pour m'avoir conseillée, encouragée et soutenu tout au long de la thèse avec patience et disponibilité, et pour la confiance qu'elle m'a accordée. Je la remercie également de m'avoir donné l'opportunité d'assister à plusieurs congrès internationaux.

J'adresse un grand merci à Madame MEKSEM Leila Professeur à l'université d'Annaba pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour son dévouement et ses encouragements qui m'ont permis de mener à bien cette étude.

Je remercie Monsieur FADEL Djamel, Professeur à l'Université de Souk Ahras pour avoir accepté d'être examinateur de ce travail, pour ses précieux conseils et ses encouragements.

Je tiens à remercier vivement Madame GRARA Nedjoud Maître de conférences à l'Université de 8 mai 1945 de Guelma pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Monsieur MEDJEZRI Lamine Maître de conférences à l'Université de Skikda pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail, qu'il trouve ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Je remercie vivement Monsieur DJEBAR Mohamed Réda Professeur à l'université d'Annaba pour l'accueil et la place qu'il m'a réservé au sein de son laboratoire et qui m'a toujours encouragé depuis mon mastère jusqu'à la fin de ma thèse, pour sa disponibilité, et toute l'aide fournie et pour faire de mon cursus dans son laboratoire une expérience enrichissante.

J'adresse mes remerciements à Madame BERREBBAH Houria Professeur à l'université d'Annaba pour son dynamisme et ses qualités humaines qui ont été une source de motivation permanente pour moi durant toutes ces années de thèse.

Je remercie Monsieur KEBEICHE Hacene responsable du Laboratoire d'analyse microbiologique de la DDS de Guelma, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et pour m'avoir permis de réaliser toute la partie des analyses microbiologiques des eaux.

Je remercie également le directeur de l'ONA, Monsieur HIEHEM M qui m'a aidé en me fournissant une Partie de la documentation nécessaire à la réalisation du premier chapitre de mon travail.

Je remercie infiniment Monsieur Le directeur de la station d'épuration de Guelma pour m'avoir permis de réaliser la majeure partie des analyses physicochimiques des eaux au niveau de son laboratoire de Bactériologie.

Cette étude a été possible grâce à l'accès accordé à différents appareillages et aux conseils techniques des personnes responsables des laboratoires de Physiologie Végétale, Laboratoire de Toxicologie Cellulaire et Laboratoire de Chimie de l'Université d'Annaba.

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Ma très chère et douce mère qui m'a toujours apporté son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragé, conseillé et soutenu dans mon travail

Ma chère sœur

Mes chers frères

Ma femme, qui m'a encouragé et soutenu

Toute ma famille

Mes camarades de la promotion 2010 et tous mes chers amis.

Résumé

Un essai sur une variété d'oignon « *Allium cepa* » a été conduit afin de vérifier les effets des eaux usées traitées sur quelques paramètres physiologiques, biochimiques et enzymatiques de cette plante. Pour cela un semis dans des pots a été réalisé. Deux irrigations différentes ont été choisies, l'une en utilisant des eaux usées traitées provenant de la station d'épuration de Guelma, et l'autre, des eaux ordinaires servant de témoin. Un premier prélèvement a été effectué au stade (chute des cotylédons), un second au stade (5 feuilles) et un troisième au stade (formation des bulbes). Les tests ont porté sur la germination, les teneurs en chlorophylles au niveau des feuilles, sur la biomasse (feuilles et racines), et sur les teneurs en sucres solubles, protéines totales et proline au niveau des racines, tiges et des feuilles et l'activité enzymatique de la catalase, gâïacol peroxydase et APX.

Des analyses physico-chimiques des eaux usées traitées ont été également réalisées concernant les paramètres suivants : T°C, pH, le potentiel redox, la conductivité électrique, les matières en suspension (MES), la DBO₅, la DCO, les matières oxydables, nitrates, nitrites, les orthophosphates et l'ammonium et des analyses microbiologiques : les coliformes totaux, les coliformes fécaux, la flore mésophile, les streptocoques, les staphylocoques, les salmonelles et les shigelles.

Les résultats obtenus ont montré que sur le plan énergétique, les chlorophylles totales sont plus élevées chez la variété d'oignon et aux 3 stades quand elle est irriguée avec des eaux usées traitées, montrant ainsi l'aptitude du cultivar à réagir favorablement sous les conditions abiotiques. La biomasse a tendance à augmenter suite à l'irrigation avec des eaux usées épurées. Concernant la germination, le traitement par les eaux usées traitées présente un effet positif sur le taux de levée des grains et un allongement de la période de celle-ci. Les sucres solubles, critère souvent pris comme référentiel de tolérance au stress ont été accumulés beaucoup plus au niveau des racines chez la variété expérimentée aux stades (5F) et (FB). Les teneurs en proline sont supérieures chez les plantes traitées, expliquant ainsi l'adaptation du cultivar aux conditions abiotiques. Les protéines totales suivent de manière générale le profil de la proline. Les résultats des activités spécifiques de gâïacol peroxydase et de la catalase indiquent une grande capacité antioxydative chez l'oignon

L'analyse physico-chimique des eaux usées traitées a montré que pour l'ensemble des paramètres étudiés au cours de l'expérimentation, en particulier la conductivité électrique, l'ammonium et le ratio DCO/DBO₅ dépassent les normes admissibles lorsqu'elles atteignent leurs valeurs maximales. Ceci est lié à la faible dilution de la matière organique en raison de la consommation plus au moins limitée d'eau par habitant en comparaison avec les pays développés. L'analyse microbiologique a montré la présence de germes pathogènes (les shigelles et les staphylocoques). Le nombre des coliformes fécaux dépasse légèrement la norme fixée par l'OMS.

Mots clés : Eau usée traitée, irrigation, oignon, physiologie, biochimie, enzymologie.

أجريت القياسات الفسيولوجية، الحيوية الأنزيمية له . لهذا تأثير مياه عية
اختيار طريقتين تين ل مياه الأخرى بمياه الحنفية. عيذ () الثانية
(5) () . مستويات يخضور
الحوية () السكريات البروتين البرولين
والسيفان أيضا الأنزيمي : (CAT) (GPOX) (APX).

يت كذلك ليل فيزيو كيميائية لمياه ناقلية الكهربائي (pH)
البيولوجي للأكسيج (DBO₅) كيميائي للأكسجين (DCO)
التنريت الأمونيوم. أما التحاليل الميكروبيولوجية : القولونيات، القولونيات
البرازية البكتيريا العقديات، المكورات العنقودية السالمونيلا الشيجي .

أظهرت يخضور المسقية مياه
هذا في تبيين إيجابي هذه
حيث الحوية زيادة الحوية الجذرية وأيضاً الهوائية. في ما يخص
بالمياه له تأثير إيجابي
بينت التكيف بمياه
العضوية (البروتينات، البرولين،
الأنزيمي يخضع عديدة بيروكسيد زيادة
(CAT) (GPOX).

تشير التحليل الفيزي كيميائية لمياه القيم
المعايير العالمية قيم: ناقلية الكهربائي (DCO/DBO₅) الأمونيوم أحيانا
معايير بلوغها قيمها. ليل الميكروبيولوجية أظهرت يري
: (الشيجي المكورات العنقودية). القولونيات البرازية يتجاوز نسبيا المعايير
عالمية .

المفتاحية: مياه الفيزيوكيميائية،
البيوكيميائية، الأنزيمية.

Abstract

Test on a variety of onion "*Allium cepa*" was conducted to test the effects of treated wastewater on some physiological, biochemicals and enzymatics parameters of this plant. For this sowing in pots has been achieved. Two different irrigations were chosen, one using treated wastewater from the station of Guelma, and the other, ordinary water as a control. A first sample was taken at fall cotyledon stage (CC), a second to five leaf stage (5F) and a third stage in the formation of bulbs (FB). The tests focused on the germination, levels of chlorophyll in the leaves, biomass (leaves and roots), and the levels of soluble sugars, total protein and proline in the roots, stems and leaves and enzymatic activity of catalase (CAT), peroxidase guaiacol (GPOX) and peroxidase ascorbate (APX).

Physico-chemical analysis of treated wastewater were also performed for the following parameters: T °C, pH, redox potential, electrical conductivity, total suspended solids (TSS), BOD₅, COD, oxidizable materials, nitrate, nitrite, orthophosphate, ammonium and microbiological analyzes: total coliforms, fecal coliforms, mesophilic flora, streptococci, staphylococci, salmonella and Shigella.

The results showed that in terms of energy, total chlorophyll were higher in the variety of onion and three stages when it is irrigated with treated wastewater, showing the ability of the cultivar to respond favorably under treatment conditions treated wastewater. Biomass tends to increase caused by irrigation with treated wastewater. On germination, treatment with treated wastewater has a positive effect on the rate of removal of grains and a lengthening of the period of this one. Soluble sugars, often used as a criterion reference tolerance to abiotic stress were accumulated more in the roots on the tested range, the 5F stage and FB stage. Proline levels are higher in plants irrigated with treated wastewater, thus explaining the cultivar adaptation to abiotic conditions. Total proteins generally follow the profile of the proline. The results of specific activity guaiacol peroxidase and catalase indicate high antioxidative capacity of onion.

The physico-chemical analysis of treated wastewater showed that for all the parameters studied in the experiment, in particular: ammonium, electrical conductivity and DCO/DBO₅ exceed acceptable standards when they reach their maximum values. This is cause of the low dilution of organic matter to the more or less limited consumption of this last, compared with developed countries and microbiological analysis showed the presence of pathogens (Shigella and staphylococcus). The number of fecal coliform slightly exceeds the standard set by the WHO.

Keywords: Waste water treated, irrigation, onion, physiology, biochemistry, enzymology.

Liste des figures

Figure 01 : Situation géographique de Guelma	2
Figure 02 : Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette de Guelma	5
Figure 03 : Géomorphologie de la zone d'étude	6
Figure 04 : Aperçue hydrogéologique générale de la zone de Guelma	7
Figure 05 : Évolution des précipitations annuelles durant la période (1994-2010)	10
Figure 06 : Variation des précipitations mensuelles durant la période (1994-2010)	10
Figure 07 : Variation des précipitations mensuelles durant la période (1994-2010)	13
Figure 08 : Variation de l'humidité relative mensuelle durant la période (1994-2010)	14
Figure 09 : Diagramme Ombrothermique de la station de Guelma	15
Figure 10 : Carte d'occupation du sol dans la wilaya de Guelma	16
Figure 11 : Image satellitaire représentant la localisation de la STEP de Guelma	39
Figure 12 : Configuration de la STEP de Guelma	40
Figure 13 : Variations de la température des eaux usées traitées	47
Figure 14 : Évolution du pH des eaux usées traitées	47
Figure 15 : Évolution du potentiel redox des EUT en fonction du temps	48
Figure 16 : Évolution des matières en suspension des EUT	48
Figure 17 : Variation temporelle de la conductivité électrique des eaux usées épurées	49
Figure 18 : Variations de la Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅) des EUT	49
Figure 19 : Variations de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) des EUT	50
Figure 20 : Variations des teneurs des matières oxydables des EUT	50
Figure 21 : Évolution des taux d'orthophosphates au niveau des eaux usées traitées	51

Figure 22: Évolution temporelle des taux d'ammonium au niveau des eaux usées traitées ..	51
Figure 23: Évolution temporelle des nitrites au niveau des eaux usées traitées	52
Figure 24: Évolution temporelle des taux de nitrates au niveau des eaux usées traitées	52
Figure 25: Évolution temporelle des coliformes totaux dans les EUT	54
Figure 26: Évolution temporelle des coliformes fécaux dans les EUT	55
Figure 27: Évolution temporelle de la flore mésophile anaérobie des eaux	56
Figure 28: Évolution temporelle des streptocoques dans les EUT	57
Figure 29: Le cycle de développement de l'oignon	68
Figure 30: Évolution de la production de l'oignon sec en Algérie	72
Figure 31: Plan du dispositif expérimental	74
Figure 32: Effet des eaux usées traitées sur le taux et la vitesse de germination	81
Figure 33: Effet des eaux usées traitées sur la biomasse de la partie souterraine	82
Figure 34: Effet des eaux usées traitées sur la biomasse foliaire	82
Figure 35: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (a)	83
Figure 36: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (b)	83
Figure 37: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (a+b)	84
Figure 38: Effet des EUT sur la teneur en protéines totales au niveau des tiges de l'oignon.	84
Figure 39: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en protéines totales au niveau des racines de l'oignon	85
Figure 40: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en protéines totales au niveau des feuilles de l'oignon.....	85
Figure 41: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en proline dans les tiges de l'oignon ..	86
Figure 42: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en proline au niveau des racines	86

<u>Figure 43:</u> Effet des eaux usées traitées sur la teneur en proline au niveau des feuilles	87
<u>Figure 44:</u> Effet des EUT sur la teneur en sucres solubles au niveau des tiges de l'oignon ..	87
<u>Figure 45:</u> Effet des eaux usées traitées sur la teneur en sucres solubles au niveau des racines de l'oignon	88
<u>Figure 46:</u> Effet des eaux usées traitées sur la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles de l'oignon	88
<u>Figure 47:</u> Corrélation entre la teneur relative en protéines totales et la concentration en proline et en sucres solubles	89
<u>Figure 48:</u> Dommages induits par les espèces réactives de l'oxygène	102
<u>Figure 49:</u> Effet des EUT sur l'activité de guaïgol peroxydase au niveau des racines	105
<u>Figure 50:</u> Effet des EUT sur l'activité de guaïgol peroxydase au niveau des feuilles	105
<u>Figure 51:</u> Effet des EUT sur l'activité de la catalase au niveau des racines de l'oignon ...	106
<u>Figure 52:</u> Effet des EUT sur l'activité de la catalase au niveau des feuilles de l'oignon....	106
<u>Figure 53:</u> Effet des EUT sur l'activité de la (APX) au niveau des racines de l'oignon	107
<u>Figure 54:</u> Effet des EUT sur l'activité de la (APX) au niveau des feuilles de l'oignon	107

Liste des tableaux

<u>Tableau 01:</u> Coordonnées de la station météorologique de Guelma	9
<u>Tableau 02:</u> Pluviométrie mensuelle et annuelle durant la période (1994-2010)	11
<u>Tableau 03:</u> Température mensuelle et annuelle durant la période (1994-2010)	12
<u>Tableau 04:</u> Variation moyenne mensuelle de l'enseuillement : période (1994-2010)	14
<u>Tableau 05:</u> Type de culture, les superficies agricoles, et la surface irriguée en 2009.....	18
<u>Tableau 06:</u> Évolution des superficies irriguées en (ha) par groupe de culture dans le périmètre d'irrigation Guelma-Bouchehouf	19
<u>Tableau 07:</u> Évolution des terres irriguées et des besoins en eau d'irrigation dans le bassin de Guelma	20
<u>Tableau 08:</u> Rejets des eaux usées domestiques : Cas d'assainissement de la wilaya de Guelma	23
<u>Tableau 09:</u> Répartitions des stations de lavage et vidange de Guelma	24
<u>Tableau 10:</u> Les installations industrielles recensées et classées de la ville de Guelma et les milieux récepteurs de leurs rejets	25
<u>Tableau 11:</u> Types et quantités de fertilisants utilisés à la wilaya de Guelma durant la campagne (2005 - 2006)	26
<u>Tableau 12:</u> Typologie des bénéfices associés à la réutilisation des eaux usées	31
<u>Tableau 13:</u> Typologie des risques associés à la réutilisation des eaux usées	32
<u>Tableau 14:</u> Classes de la salinité des eaux d'irrigation	33
<u>Tableau 15:</u> Les bactéries pathogènes dans les eaux usées	35
<u>Tableau 16:</u> Les protozoaires pathogènes dans les eaux usées	36
<u>Tableau 17:</u> Les helminthes pathogènes dans les eaux usées	37

<u>Tableau 18:</u> Les virus dans les eaux usées	38
<u>Tableau 19:</u> Charges hydrauliques de la STEP de Guelma	40
<u>Tableau 20:</u> Références et méthodes analytiques utilisées pour la recherche des germes	46
<u>Tableau 21:</u> Récapitulatif des paramètres globaux de la qualité des eaux usées traitées	53
<u>Tableau 22:</u> L'évolution temporelle des Salmonelles, Shigelles et Streptocoques dans les eaux usées traitées	58
<u>Tableau 23:</u> Classification systématique de l'oignon (<i>Allium cepa</i>)	66
<u>Tableau 24:</u> Production mondiale de l'oignon en 2011	71
<u>Tableau 25:</u> Volumes des eaux d'irrigation utilisés	74
<u>Tableau 26:</u> Effet des eaux usées traitées sur le taux, Le temps moyen et la vitesse de germination	81
<u>Tableau 27:</u> Localisation et mécanisme de production des espèces réactives de l'oxygène dans les cellules végétales	97

Liste des photos

<u>Photo 01:</u> Site de prélèvement : Sortie de la STEP de Guelma	41
<u>Photo 02:</u> Préparation des pots avant le semi des plantes	75
<u>Photo 03:</u> Des plantes <i>Allium cepa</i> au stade tallage	75
<u>Photo 04:</u> Des plantes <i>Allium cepa</i> au stade chute de cotylédons	75
<u>Photo 05:</u> Prélèvement des échantillons	76

Liste des abréviations

SOD : Superoxide Dismutase.
H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène
ONID : Office National de l'Irrigation et Drainage.
ONA : Office National d'Assainissement.
STEP : Station d'épuration.
EUT : Eau Usée Traitée.
CAT : Catalase.
APX : Ascorbate Peroxydase.
GPOX : gaïacol peroxydase.
SAT : Surface Agricole Totale.
SAU : Surface Agricole Utile.
DSA : Direction des services agricoles.
DHW : Direction d'Hydraulique de la Wilaya.
CC : Chute de Cotylédon.
FB : Formation de Bulbe.
5F : Stade 5-Feuilles
FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
TMG : Temps Moyen de Germination.
TG : Taux de Germination.
DO : Densité Optique.
ERO : Espèces réactives d'Oxygénées.
ENR : Espèces Nitrées Réactives.
O₂•⁻ : Radical anion superoxide.
OH• : Radical hydroxyle.
GSH : Glutathion.
REUE : Réutilisation des Eaux Usées Épurées.
MES : Matières En Suspension
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
MO : Matières Oxydables.
NPP : Nombre le Plus Probable.
CE : Conductivité Électrique.
FMAT : Flore Mésophile Aérobie Totale.
ha : hectare.
Km : kilomètre.

Sommaire

Résumés	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Liste des photos	IV
Liste des abréviations	V
Introduction générale	VI

CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude.

1. Présentation de la région de Guelma	1
1.1 Situation géographique	1
1.2 Cadre physique de la cuvette de Guelma	3
1.3 Orographie et géomorphologie	6
1.4 Réseau hydrographique du versant de Guelma	7
1.5 Couverture végétale	8
2. Climatologie	9
2.1 Pluviométrie	9
2.1.1 Précipitations annuelles	9
2.1.2 Précipitations mensuelles	10
2.2 La température	12
2.3 L'ensoleillement	13
2.4 L'humidité relative de l'air	14
2.5 Diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen	15
3. Les activités agricoles	16
3.1 La répartition des terres	16
3.2 La production végétale	17
3.3 L'irrigation	19
3.3.1 L'agriculture de la grande hydraulique	19
3.3.2 L'agriculture de la petite et la moyenne hydraulique	20
3.3.3 Demande en eau d'irrigation	20

CHAPITRE II : Analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées traitées.

Introduction	21
1. Définition de la pollution des eaux	22
1.2 La pollution hydrique	22
1.2.1 <i>Pollution d'origine domestique</i>	22
1.2.2 <i>Pollution d'origine Industrielle</i>	24
1.2.3 <i>Pollution d'origine agricole</i>	26
2. Techniques et procédés d'épuration des eaux usées	27
2.1 Procédés physico-chimiques	27
2.2 Procédés biologiques	27
2.2.1 <i>Systèmes intensifs</i>	27
2.2.2 <i>Systèmes extensifs</i>	28
2.3 La méthanisation	28
3. Réutilisation des eaux usées épurées	29
3.1 Bilan mondial	29
3.2 La réutilisation des EUT en Algérie	29
3.2.1 <i>Réutilisation indirecte</i>	30
3.2.2 <i>Réutilisation Directe</i>	30
3.3 Intérêt de la réutilisation agricole des eaux usées	30
3.4 Risques liés la réutilisation des eaux usées traitées	33
4. Critères de qualité des eaux destinées à l'irrigation	33
4.1 Critères physicochimiques	33
4.1.1 <i>Salinité</i>	33
4.1.2 <i>Alcalinité</i>	34
4.1.3 <i>Toxicité spécifique des ions</i>	34
4.1.4 <i>Éléments traces et métaux lourds</i>	34
4.1.5 <i>Fertilisants dans les eaux usées traitées</i>	34
4.2 Critères de qualité biologique	35
4.2.1 <i>Les bactéries</i>	35
4.2.2 <i>Les protozoaires</i>	36

4.2.3 Les helminthes	36
4.2.4 Les virus	37
4.3 Critères techniques	38
5. Matériel et méthodes	39
5.1 Présentation et localisation du site de prélèvement	39
5.1.1 Présentation et localisation de la STEP	39
5.1.2 Principe et fonctionnement du système de traitement	40
5.2 Prélèvement des eaux	41
5.3 Méthodes d'analyses physicochimiques	42
5.3.1 Mesure de la température	42
5.3.2 Mesure du pH, conductivité et potentiel redox	42
5.3.3 Détermination des matières en suspension (MES)	42
5.3.4 Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO ₅)	43
5.3.5 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	43
5.3.6 Dosage des orthophosphates (PO ₄ ³⁻)	43
5.3.7 Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻)	43
5.3.8 Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻)	44
5.3.9 Dosage d'ammonium (NH ₄ ⁺)	44
5.4 Méthodes d'analyses microbiologiques	44
5.4.1 Dénombrement des coliformes totaux et fécaux	45
5.4.2 Dénombrement des streptocoques	45
5.4.3 Dénombrement de la Flore mésophile.....	45
5.4.4 Détection des staphylocoques, salmonelles et shigelles.....	46
6. Résultats	47
6.1 Résultats des analyses physicochimiques	47
6.2 Résultats des analyses microbiologiques	54
7. Discussions	59
7.1 Analyses physicochimiques	59
7.2 Analyses microbiologiques	61
Conclusion	63

CHAPITRE III : La culture de l'oignon (*Allium cepa*).

Introduction	64
1. Description et origine de l'oignon	65
1.1 Description	65
1.2 Origines	65
1.3 Position taxonomique et caractéristiques génétiques	65
1.4 Variétés de l'oignon	66
1.5 Cycle de développement	67
1.6 Propriétés de l'oignon	69
1.6.1 <i>Principe chimique</i>	69
1.6.2 <i>Caractéristiques biochimiques</i>	69
1.7 Utilisation de l'oignon	70
1.8 Importance économique	70
2. Matériel et méthodes	73
2.1 Technique de culture	73
2.1.1 <i>Préparation du sol</i>	73
2.1.2 <i>Germination et semis</i>	73
2.1.3 <i>Repiquage et irrigation</i>	74
2.2 Paramètres physiologique	77
2.2.1 <i>La germination</i>	77
2.2.2 <i>La biomasse</i>	77
2.2.3 <i>Dosage des chlorophylles</i>	78
2.3 Paramètres biochimiques	78
2.3.1 <i>Dosage des protéines totales</i>	78
2.3.2 <i>Dosage de la proline</i>	79
2.3.3 <i>Dosage des sucres solubles</i>	80
2.4 Analyse statistique des résultats	80
3. Résultats	81
4. Discussions	90
Conclusion	93

CHAPITRE IV : Effet des eaux EUT sur les biomarqueurs enzymatiques.

Introduction	94
1. Le stress chez les végétaux	95
2. Généralités sur le stress oxydant	95
2.1 Définition de stress oxydant	95
2.2 Les radicaux libres	96
2.3 Les espèces réactives de l'oxygène (ERO)	96
2.4 La réponse adaptative au stress	97
3. Les mécanismes de défense antioxydant	98
3.1 Les biomarqueurs non enzymatique	98
3.1.1 <i>Le glutathion</i>	98
3.1.2 <i>L'ascorbate</i>	98
3.1.3 <i>L'acide lipoïque</i>	99
3.1.4 <i>Les caroténoïdes</i>	99
3.1.5 <i>L' -tocophérol</i>	99
3.2 Les biomarqueurs enzymatique	99
3.2.1 <i>La catalase (CAT)</i>	99
3.2.2 <i>Les superoxydes dismutases (SODs)</i>	100
3.2.3 <i>Les peroxydases (POX)</i>	100
3.2.4 <i>L'ascorbate peroxydase (APX)</i>	100
3.2.5 <i>Le gâiacol peroxydase (GPOX)</i>	101
4. Matériel et méthodes	103
4.1 Matériel	103
4.2 Dosage enzymatique	103
4.2.1 <i>Dosage de l'activité catalase (CAT)</i>	104
4.2.2 <i>Dosage de l'activité ascorbate peroxydase (APX)</i>	104
4.2.3 <i>Dosage de l'activité gâiacol peroxydase (GPOX)</i>	104
5. Résultats	105
6. Discussion	108
Conclusion	110
Conclusion générale	111
Perspectives	112
Références bibliographiques	113

Introduction générale

L'importance de l'eau pour la vie comme composant de l'écosystème mondial n'est plus à démontrer. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un facteur du développement pour générer et entretenir la prospérité par le biais de l'agriculture, la pêche, la production d'énergie, l'industrie, des transports et du tourisme. Cependant les besoins en eau ont doublé depuis 1980 et ont été multipliés par sept depuis 1900. La population mondiale est actuellement de six milliards d'habitants, elle dépassera les huit milliards en 2025 selon des estimations récentes et la disponibilité en eau par habitant et par an a été évaluée à 16800 m³ en 1950 et chuterait à 4800 m³ dans les années à venir d'où la nécessité d'adopter un certain nombre de pratiques vertueuses. Même si certains pays ont stabilisé leurs besoins, voire inversé la tendance grâce à une meilleure gestion de l'eau, l'explosion démographique reste un fait. L'expansion de l'irrigation et l'accroissement de l'industrialisation laissent craindre des pénuries graves dans les zones déjà touchées, comme l'Afrique du Nord, le Sahel, le Moyen-Orient et l'Asie centrale auxquels s'ajouterait l'Est des États-Unis (De la Souchère, 2009).

Actuellement, l'agriculture consomme en moyenne 70% de l'eau douce disponible à l'échelle mondiale, viennent ensuite l'industrie avec 20%, puis l'utilisation de l'eau à usage domestique qui tourne autour de 10%. L'irrigation nécessite des volumes considérables, un hectare de maïs consomme jusqu'à 20000 m³ d'eau durant sa période végétative et un hectare de riz a besoin de 40000 m³ (Meddi, 2003).

Cependant l'Algérie a connu ces dernières décennies une forte croissance démographique, une urbanisation massive et un développement des activités industrielles qui ont généré une production importante d'eaux usées, surtout dans les centres urbains. Le volume des eaux usées évacuées à travers les réseaux d'assainissement est estimé à près de 660 millions de m³ par an, dont à peine 18% subissent un processus d'épuration partiel. Les eaux usées qui constituent une ressource potentielle non négligeable, sont totalement perdues chaque année et il n'y a pratiquement aucune stratégie pour les récupérer (Bouziani, 2000). Les capacités d'épuration des eaux usées restent très faibles. Le nombre de populations agglomérées raccordées à une station d'épuration n'est que de 8%. On note un déficit important en matière de réalisation d'infrastructures d'épuration (Bentir, 1996).

Le niveau de satisfaction des besoins en eau domestiques et agricoles n'a cessé de baisser au cours de ces dernières années. Les conditions naturelles défavorables et une faible mobilisation des ressources en eau donnent une agriculture qui n'arrive pas à satisfaire les besoins d'une population en pleine croissance. (Lakhdari et *al.*, 2009). En zone aride et semi-aride, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants de l'expansion de la production agricole, tant dans le sens de l'intensification des cultures, que de l'extension des surfaces irriguées. Ainsi, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation. Dans les endroits où cette ressource est rare ou inexistante, on fait appel aux eaux souterraines. La réussite de toute mise en valeur agricole dépendra de l'emploi rationnel et du contrôle périodique des ressources en eau disponibles (Khadraoui, 2005).

La région de Guelma, comme la plupart des villes algériennes endure des conséquences de la pollution hydrique. Elle est devenue après l'indépendance un pôle industriel ce qui a causé un exode rural important. De nouvelles constructions ont été créées en un temps très court et au mépris des règles élémentaires d'hygiène pour la population. Cet état de fait est à l'origine de l'apparition des maladies à transmission hydrique (mélange des eaux de consommation avec les eaux urbaines), dégradation de la qualité des eaux des nappes due aux rejets des eaux usées (aucune évacuation), dégradation de la qualité des eaux des Oueds (Djabri, 2001).

En plus de la croissance démographique accélérée (482 430 habitants en 2008) s'ajoute en parallèle, l'implantation du tissu industriel (mécanique, parachimie, transformation plastique, briqueterie,...). Toutes ces activités industrielles contribuent à la charge hydraulique d'importantes quantités de substances toxiques et minérales susceptibles de contaminer les cours d'eau du bassin. Des industries agroalimentaires (raffinerie de sucre, conserverie de tomate, minoteries, laiterie) et les rejets domestiques génèrent une importante charge en matières organiques sous formes azotées et phosphorées. Cette situation est aggravée par les rejets de certaines stations services situées à l'approche des Oueds. Cent trente mille mètres cubes (130.000 m^3) d'eaux usées domestiques et industrielles se déversent quotidiennement dans les milieux récepteurs sans traitement préalable (DHW, 2007). Un traitement poussé des effluents urbains qui drainent l'Oued Seybouse est nécessaire pour faire face au problème de la pollution des eaux superficielles et afin de protéger cette ressource ainsi que les écosystèmes (OMS, 1973).

Pour cela, la wilaya de Guelma a mis en service une station d'épuration (STEP) au cours de l'année 2008 qui a pour objectif l'épuration de 43 388 m³/j d'eaux usées, d'où un appoint non négligeable pour permettre l'irrigation des terres agricoles à partir du bassin versant de l'Oued Seybouse et de la plaine de Bouchegouf (ONA, 2011). Les eaux usées urbaines sont épurées directement dans la station d'épuration avec une série de traitement primaires permettant d'éliminer les déchets, les sables, les graisses et les matières en suspension, puis un traitement biologique pour écarter le reste de la pollution (Payment, 1998).

Nos études ont été effectuées dans la ville de Guelma en ce qui concerne la partie sur le terrain (les prélèvements des eaux usées épurées). Le dosage des paramètres physiologiques et biochimiques de la variété d'oignon « *Allium cepa* » a été réalisé à Annaba, à la Faculté des sciences (Département de Biologie) avec l'aide du Laboratoire du Département de Chimie. Les analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées épurées ont été réalisées à la Direction de la Santé de Guelma (DDS) et la partie enzymologie au niveau de Laboratoire de Toxicologie Cellulaire à Annaba, à la Faculté des Sciences (Département de Biologie).

- Dans la première partie du travail, nous avons présenté la région étudiée pour donner un aperçu général comprenant une description du cadre physique avec les données climatiques, hydrologiques et géologiques.
 - La deuxième partie a été consacrée à l'analyse physico-chimique et microbiologique des eaux usées traitées pour faire ressortir la qualité de l'eau.
 - Dans la troisième partie, nous avons étudié l'impact des eaux usées épurées sur quelques paramètres physiologiques (germination, biomasse et chlorophylle) et biochimiques (protéines totales, proline et les sucres solubles) de la variété de l'oignon « *Allium cepa* » (aux trois stades de développement de la plante) chute des cotylédons (CC), 5 feuilles (5F) et formation du bulbe (FB).
 - La quatrième partie traite l'effet des eaux usées épurées sur l'oignon « *Allium cepa* » à l'aide des biomarqueurs de stress oxydant (l'ascorbate peroxydase -APX, le gaïacol peroxydase -GPOX et la catalase -CAT).
-

Introduction générale

CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE**1. Présentation de la région de Guelma****1.1 Situation géographique**

La wilaya de Guelma se situe au Nord-Est de l'Algérie à 290 m d'altitude. Elle s'étend de 39° au 40° de latitude de Nord et du 5° au 6° de longitude Est. Elle occupe une position géographique stratégique, elle est donc un point de rencontre entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda), les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa) et la proximité du territoire tunisien à l'Est (figure 1).

Elle couvre une superficie de 4 101 km² et elle est limitée par :

- La wilaya d'Annaba, au Nord.
- La wilaya de Skikda, au Nord-Ouest.
- La wilaya de Constantine, à l'Ouest.
- La wilaya d'Oum El Bouaghi, au Sud.
- La wilaya de Souk Ahras, à l'Est.
- La wilaya d'El Taref, au Nord-Est.

La région d'étude fait partie du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle englobe 34 communes totalisant une population de 482 430 habitants (au dernier recensement de 2008). La densité moyenne de cette population est de 118 habitants/km², dont 26% sont concentrés au niveau du centre de la wilaya et plus de 55% vivent dans les zones rurales et éparses (ONS, 2011).

1.2 Cadre physique de la cuvette de Guelma

La région de Guelma fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale. Cet ensemble qui s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne a une longueur d'environ 200 km. Sa structure complexe est due essentiellement à des mouvements tectoniques tertiaires, surtout miocènes. La région d'étude est caractérisée par des formations géologiques apparentes (Nouar, 2007).

Le Primaire

Les terrains primaires ne présentent pas beaucoup d'affleurements, et se trouvent au Nord du massif de Nador et N'Bails à l'entrée des gorges de l'Oued Seybouse. Ces affleurements sont formés par des schistes satinés alternants avec des petits bancs de grès.

Le Trias

Se trouve uniquement à l'extrémité Est de la plaine alluviale. Il est formé d'argiles bariolées injectées de gypse, cargneules et de bancs disloqués de calcaires dolomitiques sombres (Vila, 1980).

Le Néritique

Caractérisé par un faciès jurassique crétacé plus ou moins karstifié. Il est surmonté par plusieurs nappes de charriages et impliqué dans les grands accidents. Il apparaît aussi sous forme de fenêtre à Djebel Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest à Djebel Taya.

L'unité tellienne

Elle appartient au domaine externe de la chaîne des Maghrébides dans le Nord- Est algérien. Cette unité correspond au domaine tellien externe qui est constitué de formations paléogènes (Chouabi, 1987).

Le Numidien

Il forme les principaux reliefs de la région de Guelma (Mahouna, Houara). Il est caractérisé par un flysch gréseux constitué des éléments suivants:

- Épaisseur d'argile verte et rouge d'âge Oligocène.
- Alternance d'argile et de gros blocs de grès souvent hétérométriques d'âge aquitanien.
- Argile, silexites et marnes correspondants au Burdigalien inférieur (Lahondère, 1987).

Le Post – nappe (Le Mio-Pliocène)

Il est représenté au niveau du bassin de Guelma par des marnes à gypse, argiles et conglomérats rouges. Il est considéré comme une formation post – nappe, où on y voit succéder deux cycles:

- La molasse de Guelma visible sur la route Guelma-Bensmih, composé de grès jaunes friables, intercalés avec des formations argilo – marneuses grises ou jaunes parfois gypseuses.
- Le second cycle formé par une succession d'argiles de conglomérats rouges, argiles grises à gypses et à soufre et des calcaires lacustres (Nouar, 2007).

Le Quaternaire

Les formations du Quaternaire sont la base de cette étude puisque avec ces formations pliocènes constituent la roche réservoir de la nappe aquifère de Guelma. Le Quaternaire occupe le centre du bassin et correspond au faciès de terrasses où sont distingués:

Les Alluvions anciennes

Ce sont des éboulis mélangés parfois à des argiles numidiennes. Elles sont localisées tout le long du versant Ouest du bassin. Les terrasses d'alluvions anciennes dominant environ 55 m à 60 m le thalweg de la Seybouse et s'écartent pour former la grande plaine qui s'étend à l'Est de Guelma, et se rattache vers le Sud à la terrasse pliocène qui atteint une altitude d'environ 90 à 100 m au dessus de la Seybouse. Cette dernière comprend parfois des limons avec cailloux roulés et des conglomérats intercalés de bancs marno–calcaires un peu travertineux.

Les Alluvions récentes

Elles forment la majeure partie de la vallée principale actuelle de l'Oued Seybouse. Ce sont des cailloutis, galets et graviers calcaires parfois à ciment marneux (Vila, 1980).

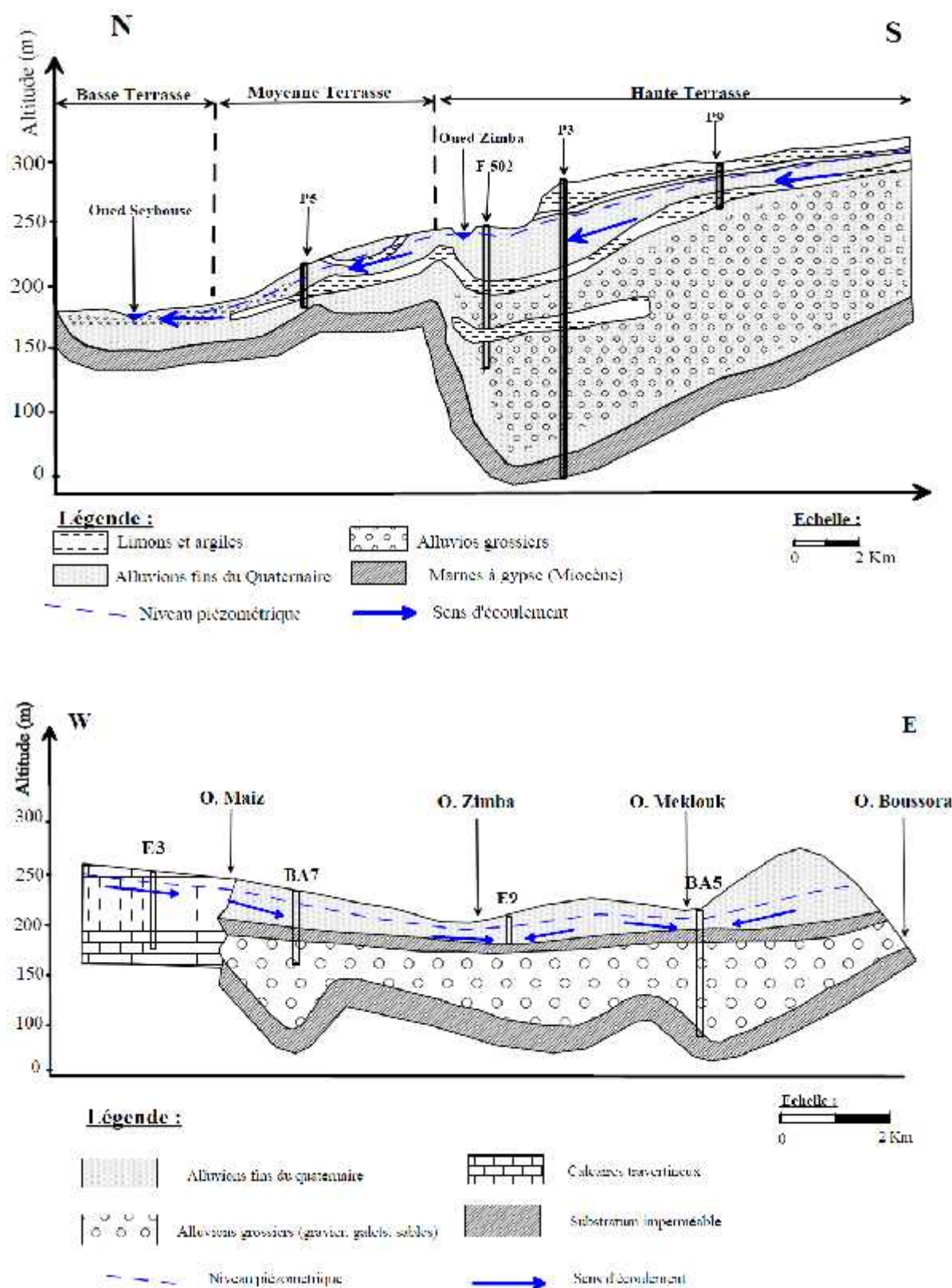


Figure 2 : Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette de Guelma.

(Gaud, 1988).

1.3 Orographie et géomorphologie

L'orographie de la région d'étude est formée en ligne générale de reliefs montagneux et collinaires constituant l'extrémité orientale de la chaîne des monts de Constantine et des contreforts occidentaux de la chaîne de la Medjerda. Ces deux contreforts sont traversés par des vallées profondes où courent les affluents de part et d'autre de la Seybouse. Tous les cours d'eau ont un caractère torrentiel.

Les altitudes les plus élevées que l'on rencontre dans la région de Guelma sont Djebel Mahouna (1411 m) et Ras El Alia (1317 m). Dans la partie Sud, les altitudes varient de 1400 m à 100 m. la région de Guelma s'inscrit dans le cycle d'érosion qui présente toutes les caractéristiques morphologiques d'une région où les eaux sont le principal agent modificateur. La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées et plus douces pour les versants exposés au Sud. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale. Elle est surmontée de terrasses qui s'élèvent à des altitudes diverses (Mouassa, 2006).

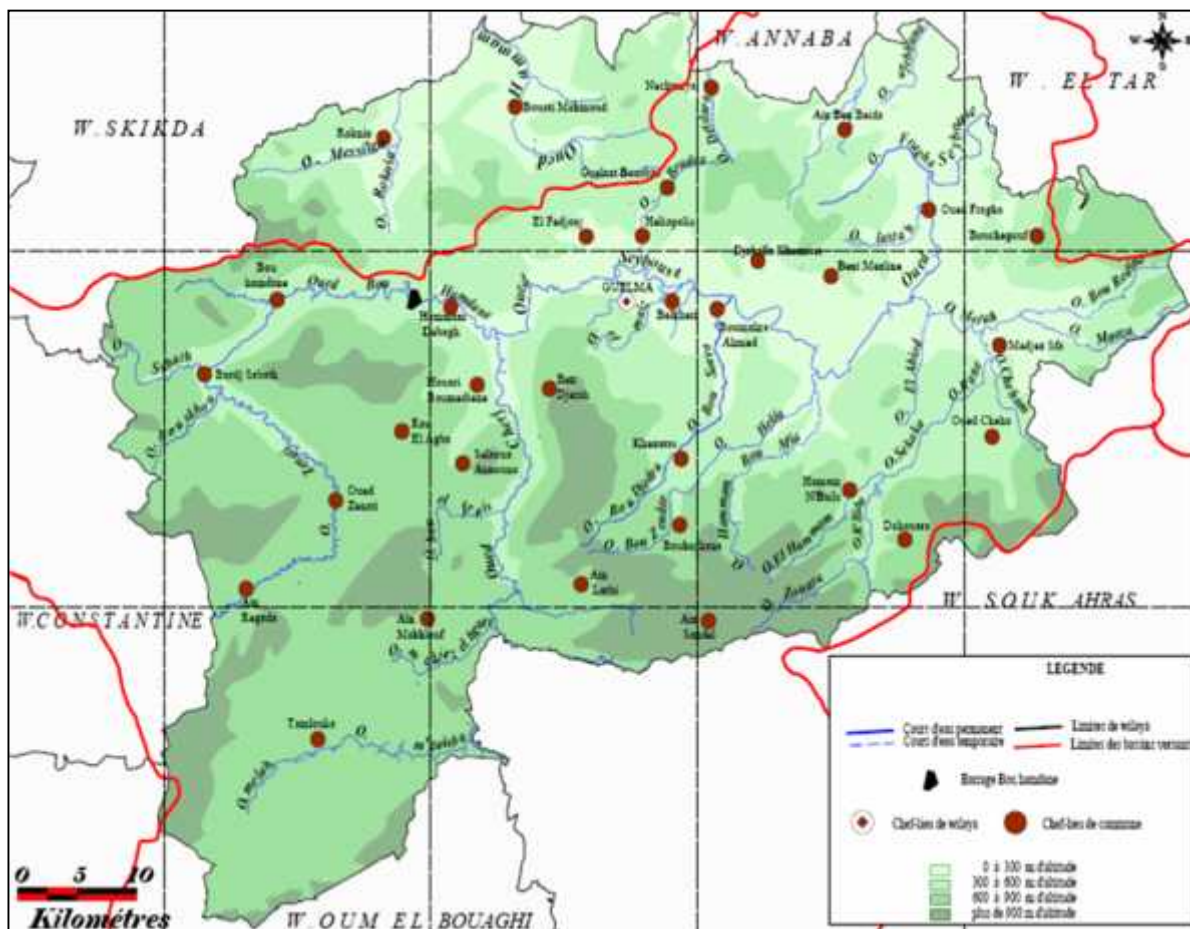


Figure 3 : Géomorphologie de la zone d'étude (Mouchara, 2009).

1.4 Réseau hydrographique du versant de Guelma :

Le réseau hydrographique (figure 4) est très dense et représenté par l'Oued Seybouse (57.15 Km) et ses majeurs affluents dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'Oued Bouhamdane (45,37 km) et du Sud vers le Nord pour l'Oued Cherf (36.46 km) l'Oued Skhoun, l'Oued Maiz, l'Oued Zimba, l'Oued Boussora, l'Oued Marmoura, l'Oued Helia et l'Oued Melah. L'Oued Bouhamdane et l'Oued Cherf drainent respectivement des sous bassin de 1105 Km² et 2845 Km² à la station de Medjez Amar qui est le point de confluence et naissance de l'Oued Seybouse (ABHCSM, 2005).

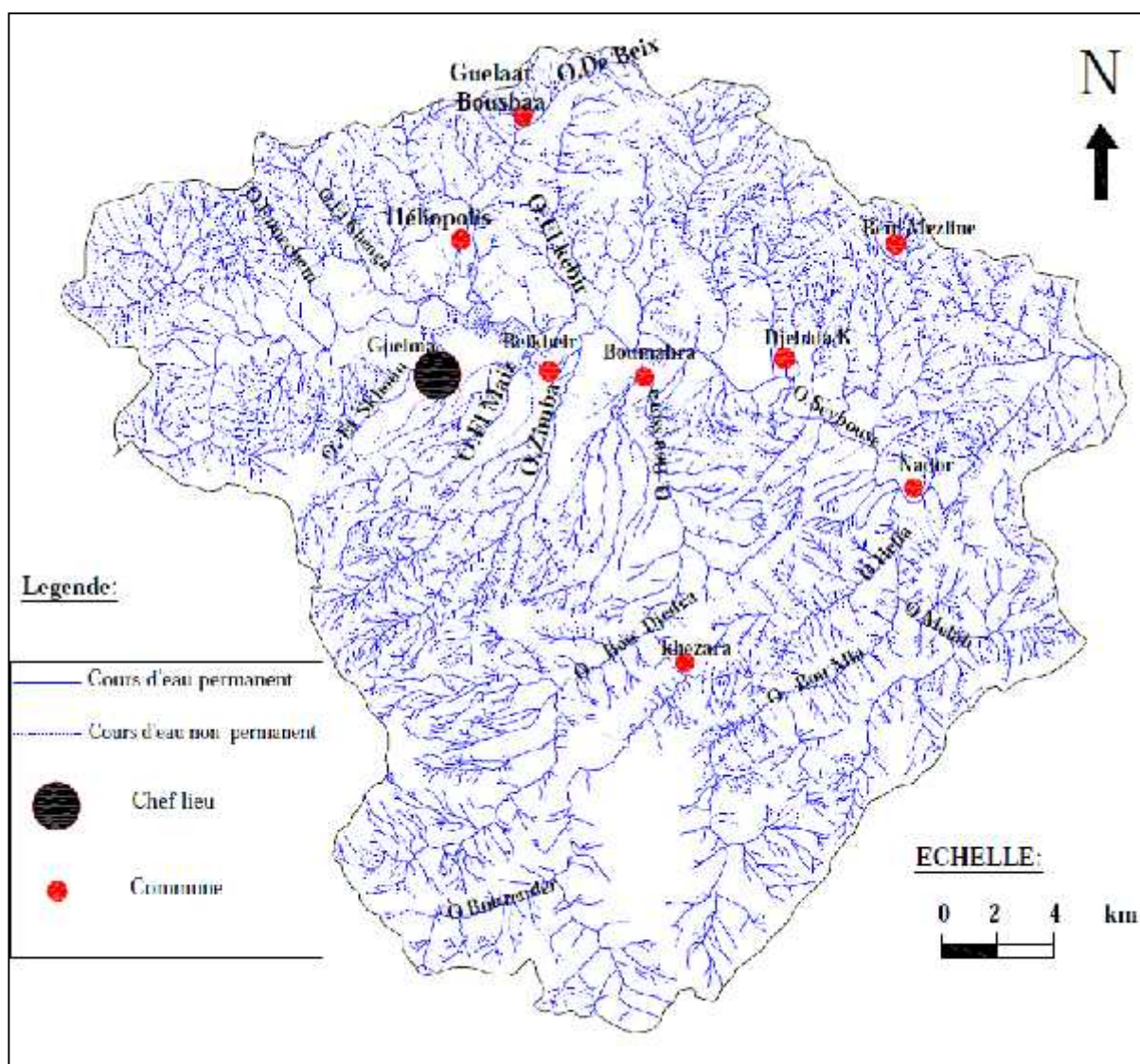


Figure 4 : Aperçue hydrogéologique générale de la zone de Guelma.
(ABHCSM, 2005).

La région de Guelma comporte quatre zones hydrogéologiques distinctes. La zone des plaines de Guelma et Bouchegouf dont les nappes captives s'étendent sur près de 40 km le long de la vallée Seybouse, elles enregistrent un débit de 385 l/s qui constituent les plus importantes nappes de la wilaya avec une potentialité hydraulique de 264,96 Million m³ d'eaux mobilisables comme suit:

Eaux souterraines: 04 sous bassins versants (hydriques) et 997 points d'eau opérationnels totalisant un potentiel de 40,6 Millions m³/an.

Eaux superficielles: 224,86 millions m³ se répartissant comme suit :

- Barrage de Bouhamdane : 220 millions m³.
- Barrage de Medjez-Beggar (Ain Makhoulf) : 2,86 millions m³.
- Important nombre de retenues collinaires : 1,578 millions m³.

Principaux Oueds:

- Oued Seybouse: traverse la plaine de Guelma - Bouchegouf sur plus de 45 km du Sud au Nord, son apport total est estimé à 408 millions m³/an.
- Oued Bouhamdane: prend sa source à l'Ouest, il est d'un apport de 96 millions m³/an.
- Oued Mellah: provenant du Sud-Est, il est d'un apport total de 151 millions m³/an.
- Oued Charef: prend sa source au sud, il est d'un apport total de 107 millions m³/an.

Le réseau hydrographique du bassin de Guelma possède un régime hydrologique de type pluvial fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année (Nouar, 2007).

1.5 Couverture végétale

Une superficie de pacages et de parcours estimée à 53.473 ha, soit 14,50% de la superficie totale de la wilaya et 20,10% de la (S.A.T). Les terres non productives sont de 26.405 ha, soit 7,16% de la superficie totale de la wilaya et 9,92% de la (S.A.T).

La superficie de couverture forestière totale est de 105.395 ha, soit 28% de la superficie totale de la wilaya. Le paysage forestier est discontinu et hétérogène confiné dans des massifs répartis d'Ouest en Est. Les grands espaces de terrains à vocation forestière sont dans la partie Sud-Est (Zouaidia, 2006).

Un potentiel important de bois (chêne zéen et liège aux forêts de Béni Salah à Bouchegouf, de Houara à Ain Ben Beida et Djeballah, Mahouna à Ben Jerrah et Béni Medjeled à Bouhamdane) totalisant près de 19.771 ha de forêts et moyennant une production de l'ordre de 510,10 stères de chêne zéen et chêne liège et de 345 m³ de bois (Medjelekh, 1996).

2. Climatologie

L'étude des données climatologiques est une opération indispensable dans toutes les approches, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. En revanche, pour étudier les mécanismes de la pollution des eaux, il est important d'étudier les données climatiques afin de pouvoir déterminer le bilan hydrologique, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

Tableau 1 : Coordonnées de la station météorologique de Guelma.

Station de Guelma	<i>Altitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Période d'observation</i>
	227 m	7 ° 28 E	36° 28 N	1994 à 2010

2.1 Pluviométrie

La pluie est un facteur climatique essentiel, conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau. L'étude nécessite notamment une analyse minutieuse des données pluviométriques. Cette analyse aboutit à l'évaluation et à la quantification des différentes franges d'eau de surface souterraines et atmosphériques.

2.1.1 Précipitations annuelles

Les données pluviométriques annuelles collectées par la station météorologique de Guelma (figure 5) montrent que les années (2003 et 2004) étaient les plus pluvieuses avec (938,5 mm et 804,8 mm), alors qu'une diminution significative est observée durant l'année 2000 avec une quantité de (405,3 mm).

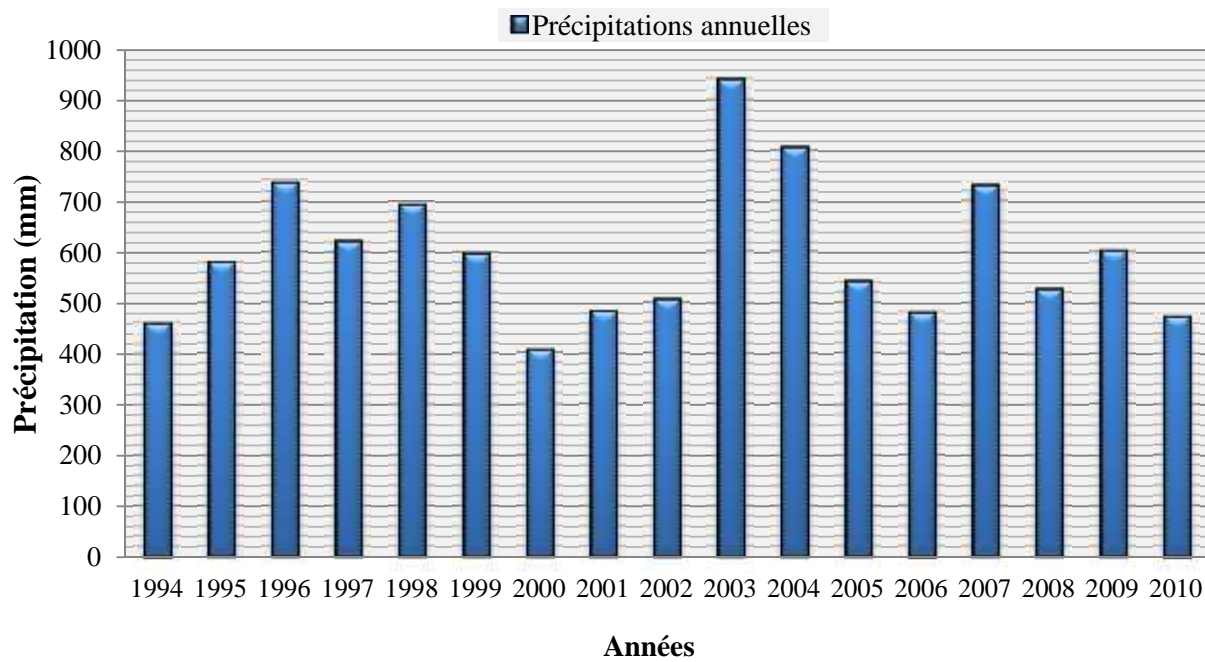


Figure 5: Évolution des précipitations annuelles en (mm) durant la période (1994-2010).

2.1.2 Précipitations mensuelles

Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques montrent les variations de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. La Figure (6) représente la variation des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1994-2010). La valeur maximale des précipitations mensuelles est observée au mois de janvier et atteint une valeur de 99,6 mm. La valeur minimale observée au mois de juillet était de l'ordre de 3 mm.

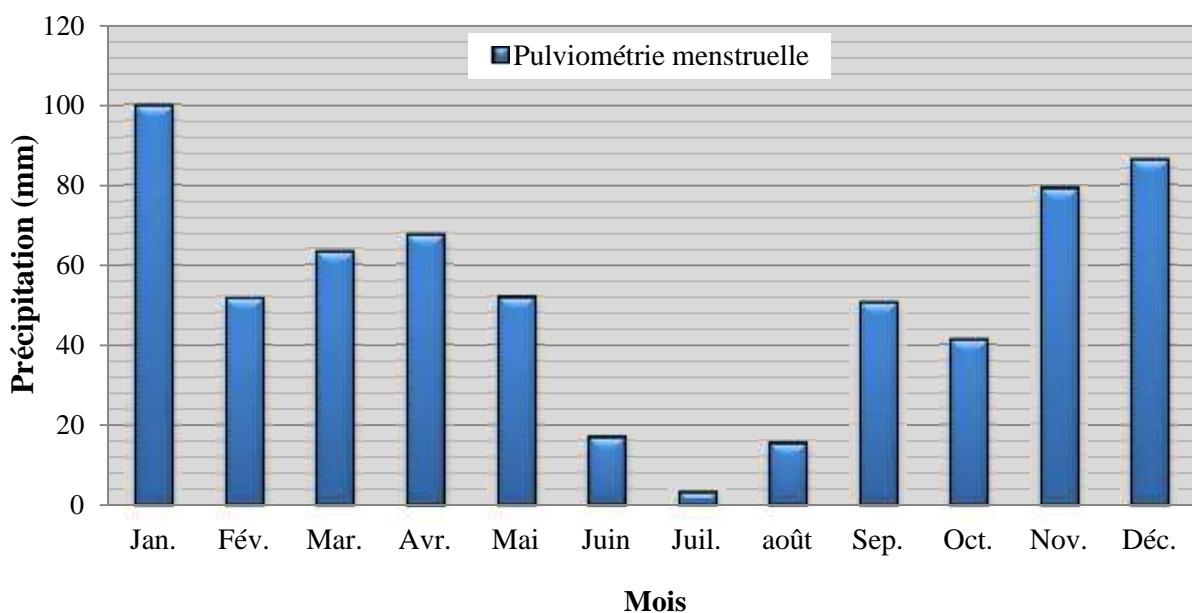


Figure 6: Variation des précipitations mensuelles en (mm) durant la période (1994-2010).

Deux saisons distinctes sont observées : une saison sèche correspond à la saison d'été (juin, juillet, août) caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué, et une saison humide représentant le reste de l'année. La période pluvieuse est marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

Tableau 2: Pluviométrie mensuelle et annuelle en (mm) durant la période (1994-2010).

Année	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
1994	71,1	89,1	2,6	74,1	10,8	3,2	1,8	11	51,4	45,5	34,6	58,6	458
1995	196,5	7,9	97,1	41,3	5,3	27,6	0,1	6,8	76,3	35	50,7	34,9	579,2
1996	126,8	212,1	61,3	137,9	76,1	9	12,3	6,5	14,7	18,1	23,7	36,3	734,8
1997	66,5	22,3	33,5	53,3	6,4	16,4	0,1	9,4	79,7	117,1	112,6	103,1	620,4
1998	48	62	31,1	56,1	77,9	2,4	0,3	46,3	98,2	35,8	190,1	43,4	691,6
1999	73,5	58,9	109,7	39,8	40,8	10,1	2,6	1	45,4	8	98,3	108	596,1
2000	42,4	21,1	15,5	34,6	139,3	15,2	0	19,5	16,5	47	16,4	37,8	405,3
2001	144,6	58,4	26,4	59,4	57,4	2,2	0	6,2	55,7	10,4	39	23,4	483,1
2002	31,6	66,4	15,3	32,3	12,4	3,6	10,2	45,9	27,9	30,2	120,2	108,2	504,2
2003	238,3	104,6	19,9	187,6	41,9	0	0	0,2	72	48,6	25,1	200,3	938,5
2004	86,8	9,7	71,1	82,6	88,2	93,3	0,1	4,1	41,6	20,3	177,1	129,9	804,8
2005	69,8	97,5	64,3	85,7	5,3	19,4	3	5,3	11	17,4	17,1	145,2	541
2006	140,1	76,7	42,7	14,2	43	1,3	4,5	12,6	12,3	12,8	28,6	89,5	478,3
2007	33,5	43,7	215,9	94,5	17,4	28,3	3,5	8	63,9	84,2	64,7	72,7	730,3
2008	160,4	11,5	91,8	22,3	53,5	14,8	5,9	4,3	29,5	25,4	70,5	35,7	525,6
2009	162,4	51,2	84,7	135,3	90	0	8	42,3	141	59,4	24,7	58,1	602,4
2010	88,8	26,9	59,6	44,6	53,4	23,3	0,7	10	23,6	69,6	141	48,4	470,7
Moy	104,6	59,71	61,65	70,05	48,27	16,0	3,11	13,9	49,9	39,73	72,22	79,36	597,9

2.2 La Température

La température est un facteur climatique important liée à la radiation solaire, sa variation influe sur le bilan hydrique par la transformation de l'eau en vapeur et par conséquence sur la végétation du fait qu'elle conditionne l'évapotranspiration (Beltrando, 1995).

Tableau 3 : Température mensuelle et annuelle en (°C) durant la période (1994-2010).

Année	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1994	9,43	11,52	11,17	13,09	19,41	23,51	27,03	27,2	26,17	20,07	16,06	11,5
1995	12,73	9,84	12,91	14,45	18,41	21,66	25,36	27,37	23,78	19,77	14,9	13,36
1996	12,21	9,38	12,57	14,2	18,19	21,63	25,31	26,87	21,43	17,13	15,39	13,44
1997	12,04	11,52	11	14,08	21,51	25,74	26,96	27,22	23,29	19,6	14,61	11,53
1998	9,8	10,49	11,63	15,09	18,05	25,28	26,86	26,62	24,08	17,23	12,61	9,32
1999	9,92	8,51	12,59	14,69	21,36	24,84	26,62	30,2	25,5	22,21	13,85	10,75
2000	7,25	10,65	12,62	15,87	21,01	23,5	27,38	27,8	23,76	18,56	15,3	11,77
2001	10,62	9,59	15,84	14,01	18,76	24,57	27,18	27,51	23,5	22,3	14,06	9,52
2002	8,63	10,68	13,02	15,81	20,01	25,57	26,92	26,74	23,31	19,71	15,46	11,86
2003	10,09	9,15	12,27	15,58	18,99	26,56	29,67	29,53	23,52	21,2	14,65	10,12
2004	9,92	11,65	12,81	14,21	17,19	22,48	26,1	27,63	23,28	21,17	12,78	11,07
2005	7,67	7,78	12,37	15,5	20,15	24,67	27,34	25,67	23,01	19,97	14,84	9,79
2006	8,61	9,86	13,24	17,22	21,61	25,35	27,81	26,19	23,29	21,14	15,29	11,09
2007	10,2	11,64	11,32	15,35	18,08	24,1	26,91	26,82	23,2	18,92	12,59	9,67
2008	10	10,03	11,72	15,4	19,8	23,03	27,69	27,55	23,84	19,79	13,7	10,12
2009	10	10,03	11,72	15,4	19,8	23,03	27,69	27,55	23,84	19,79	13,7	10,12
2010	11,45	12,35	13,1	16,6	18,25	22,7	27,35	27,3	23,8	20,35	14,65	11,95
Moy	10,03	10,27	12,46	15,09	19,44	24,01	27,06	27,39	23,68	19,93	14,37	10,99

Les températures moyennes mensuelles

La figure (7) représente les températures moyennes mensuelles confirmant l'existence de deux saisons distinctes : l'une allant de (novembre à avril) constituant une période fraîche et douce, et l'autre de (mai à octobre) et indique une saison douce et chaude.

Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont enregistrées pendant l'été (juin-octobre) avec des températures variant de 21°C à 30°C. Les températures moyennes les plus basses de 7 à 13°C, sont observées en hiver (décembre à mars) avec un minimum de température durant le mois de janvier (7,2°C).

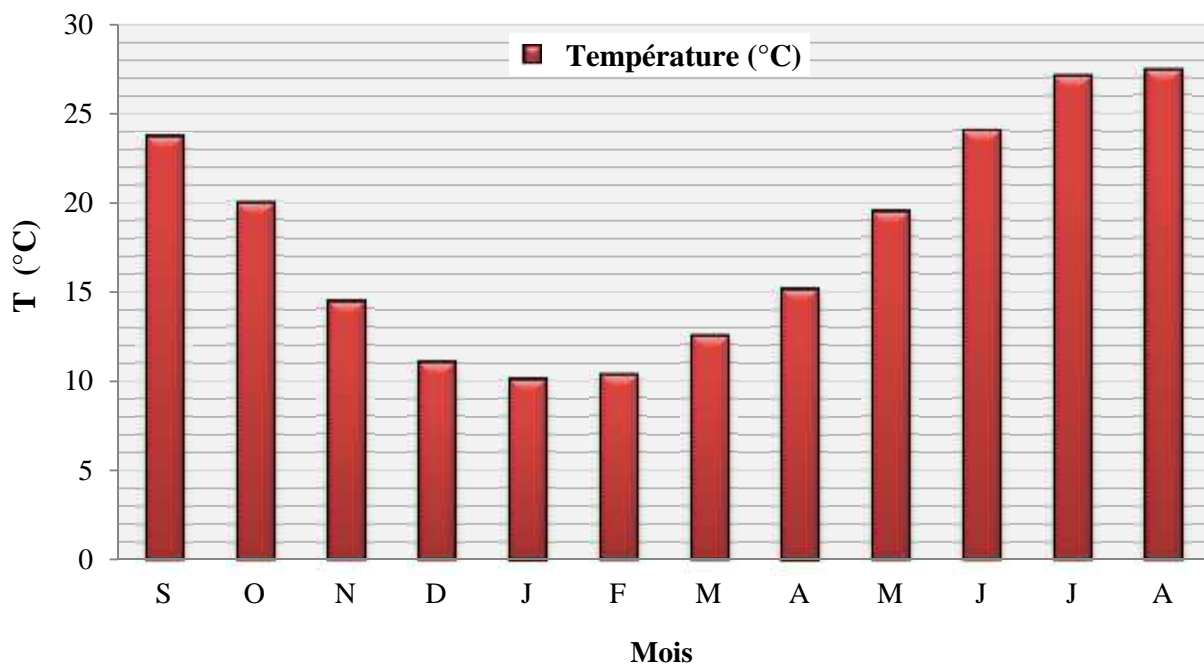


Figure 7 : Variation des précipitations mensuelles durant la période (1994-2010).

2.3 L'ensoleillement:

L'ensoleillement est un paramètre essentiel pour le développement du système reproducteur d'une culture, une réduction légère de celui-ci a un effet défavorable sur la croissance et la rétention des organes reproducteurs (Parry, 1982).

Les heures d'ensoleillement (tableau 4) augmentent en été pour décroître en hiver avec une durée moyenne annuelle de l'ordre de 2360 h. Le mois le plus ensoleillé est le mois de juillet avec 353 h de soleil. Décembre est le mois le moins ensoleillé avec seulement 147,5 h.

Tableau 4: Variation moyenne mensuelle de la durée d'enseuillement durant la période (1994-2010).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ensoleillement (h)	243.8	223	161.5	147.5	160.9	182.9	225.1	241.1	275.5	307.5	353	310.2

2.4 L'humidité relative de l'air

L'humidité de l'air joue un rôle important dans l'évaporation. Plus l'air est humide moins il est apte à absorber de l'humidité supplémentaire. L'humidité élevée atténue la sécheresse et conditionne favorablement le développement des plantes (Beltrando, 1995).

Les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air (figure 8) ne diminuent guère au dessous de 60%. L'humidité relative est en général plus élevée pendant les mois les plus froids. Elle atteint son maximum le mois de janvier (78%) alors que le minimum est observé le mois de juin.

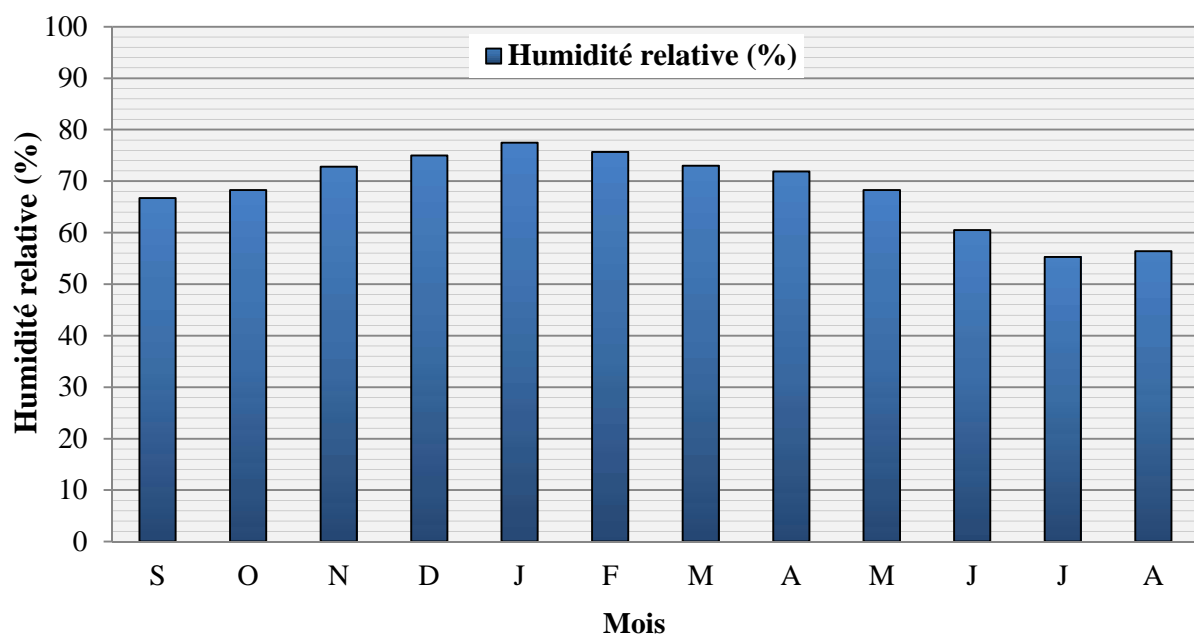


Figure 8 : Variation de l'humidité relative mensuelle durant la période (1994-2010).

2.5 Diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen :

Les deux auteurs définissent un mois biologiquement sec, comme étant une période durant laquelle la quantité de pluie est inférieure ou égale au double des températures enregistrées d'où la relation : $P \leq 2 T$ (Bagnouls et *al.*, 1953).

A partir des données concernant les précipitations moyennes mensuelles (P) et celle des températures moyennes mensuelles (T) durant la période (1994-2010), le diagramme ombrothermique de la station de Guelma (figure 9) a été réalisé.

Nous pouvons remarquer:

- Une période sèche qui s'étend de juin à la deuxième quinzaine du mois d'octobre.
- Une période humide qui s'étend de la deuxième quinzaine du mois d'octobre jusqu'à la fin de mai.

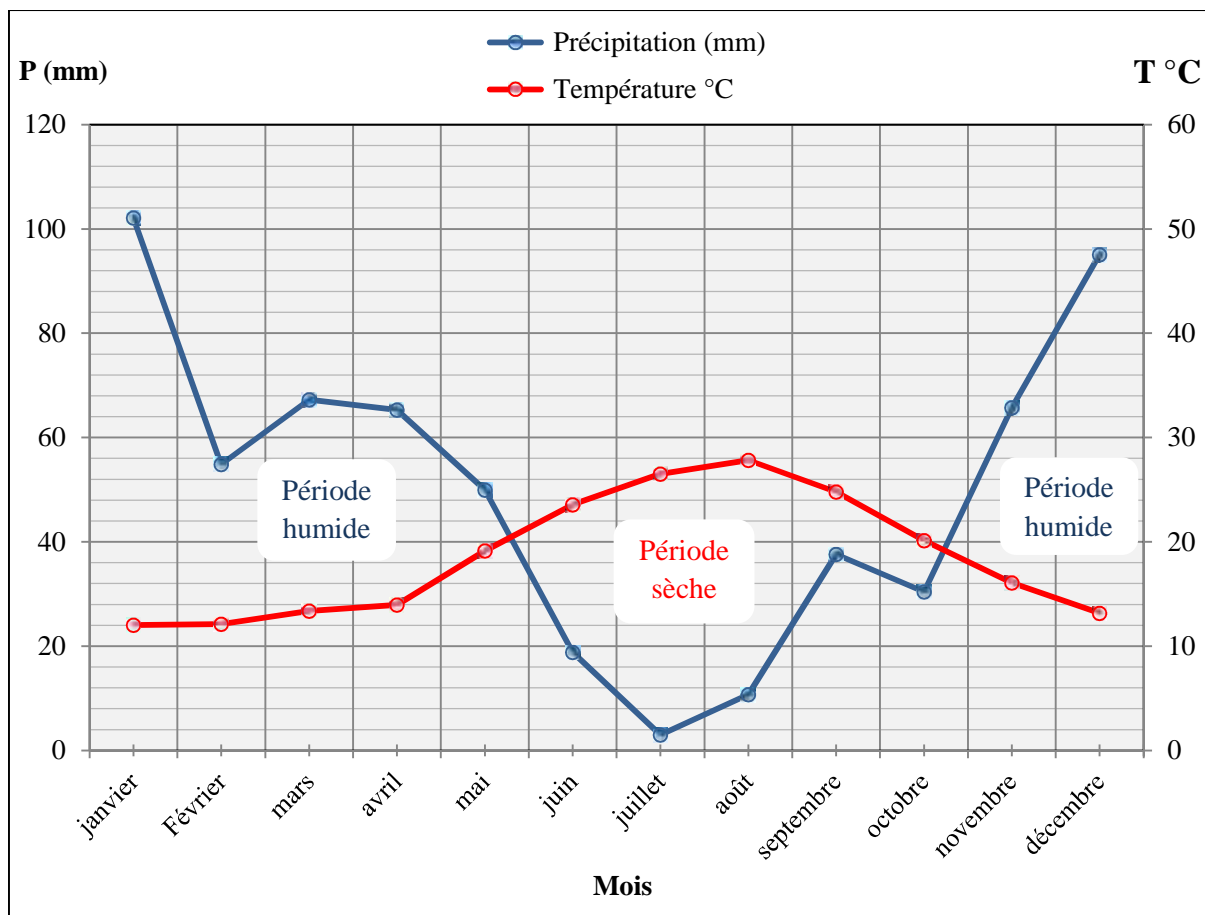


Figure 9 : Diagramme ombrothermique de la station de Guelma.

Période (1994-2010).

3. Les activités agricoles

3.1 La répartition des terres

La wilaya de Guelma recèle un important potentiel avec 266000 Ha de surface agricole totale, soit 72,15% de la superficie totale. La surface agricole utile est de près de 187338 ha, soit 50,80% de la superficie totale de la wilaya et 70,42% de la SAT. Ainsi, le ratio SAU est de près de 0,39 ha/habitant alors que celui enregistré au niveau national est de 0,3 ha/habitant. Une superficie de pacages et parcours de 53473 ha, soit 14,50% de la superficie totale de la wilaya et 20,10% de la SAT. Les terres non productives sont de 26 405 ha, soit 7,16% de la superficie totale de la wilaya et 9,92% de la SAT (Medjelekh, 1996).

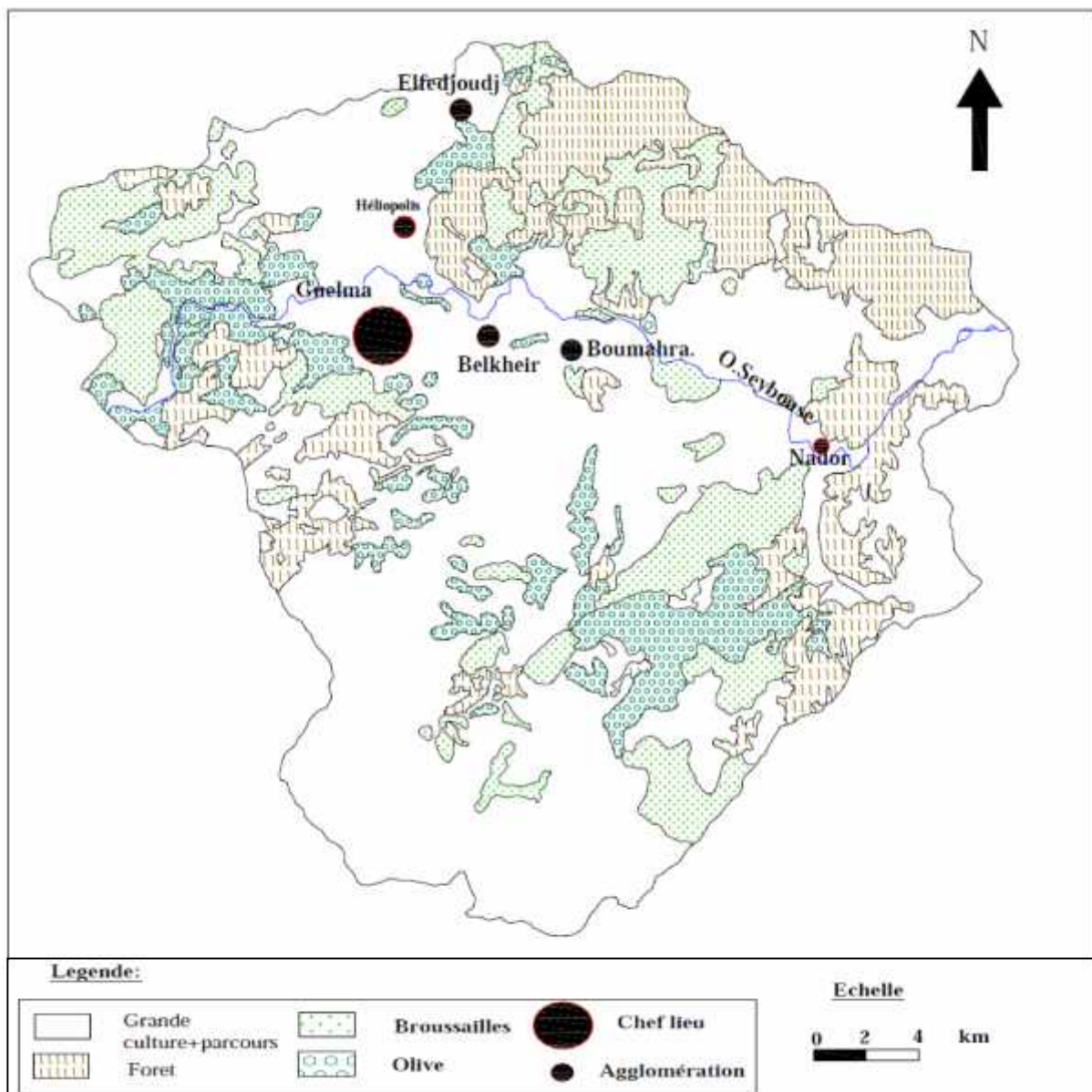


Figure 10 : Carte d'occupation du sol dans la wilaya de Guelma (Brahmia, 2009).

Dans le bassin d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine Alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts. A partir de la carte d'occupation du sol (figure 10) une estimation de la superficie occupée par chaque type de végétation a été définie (Brahmia, 2009).

3.2 La production végétale

L'agriculture dans la région de Guelma s'articule principalement autour de la production céréalière qui occupe plus de 65% de la SAU (186 122 ha). La superficie réservée pour les cultures céréalières est répartie en 93 630 ha de blé dur, 26 455 ha de blé tendre, 47 195 ha d'orge, et 6 160 ha d'avoine. Pour les cultures maraîchères, la superficie réservée est de 7 586,79 ha. Les légumes secs sont limités à 425 ha, l'oignon est représenté par plus de 30 ha et l'arboriculture est présentée sur 24 197 ha.

La culture de produits destinés à des filières agro-industrielles telles que la tomate, les poivrons et la culture de la betterave sucrière est dans les communes de Belkheir, Héliopolis, El-Fedjoudj, Bouati Mahmoud, Boumahra et Bouchegouf. La surface réservée pour la plantation de tomate industrielle pendant la saison agricole 2011/2012 est de l'ordre de 3000 ha contre 2 700 ha l'année d'avant. La production de tomates a dépassé les 2 millions de quintaux en 2012 avec un rendement de 600 quintaux à l'hectare (DSA, 2012).

Pour les cultures fourragères, la superficie totale réservée pour la campagne 2006/2007 est de 13 574 ha, soit 7,24% de la SAU en 2007. Les fourrages naturels occupent des superficies relativement plus importantes que les fourrages artificiels avec une superficie de 7 919 ha en 2007, bien qu'ils ont eu tendance à s'étendre, les superficies allouées aux fourrages artificiels ont connu une certaine stagnation au cours de la même période, elles ne dépassent pas le seuil de 5 655 ha (Kali, 2011).

Tableau 5: Type de culture, les superficies agricoles et la surface irriguées en 2009.
(DSA, 2012).

Commune	Type de culture	Surface (ha)	Fourrage (ha)	Culture maraîchère	Culture maraîchère superficie (ha)	Surface totale irriguée (ha)
Guelma	Céréales <div> Blé dur Blé tendre Orge Avoine </div>	<div>30</div> <div>3</div> <div>2</div> <div>0</div>	Fourrage naturelle=03	Pomme de terre Tomate maraîchère Salade Oignon sec Piment et poivron Tomate industrielle	<div>02</div> <div>01</div> <div>0.5</div> <div>01</div> <div>02</div> <div>10</div>	650
El-Fedjoudj	Céréales <div> Blé dur Blé tendre Orge </div>	<div>30</div> <div>3</div> <div>2</div>	Orge+avoine =220 Fourrage naturelle =120	Pomme de terre Tomate maraîchère Salade Petit pois Oignon sec et vert Piment et poivron Tomate industrielle	<div>40</div> <div>12</div> <div>05</div> <div>15</div> <div>16</div> <div>18</div> <div>80</div>	290
Héliopolis	Céréales	53		Maraîchère	30	96
Medjez Amar	Céréales <div> Blé dur Blé tendre Orge </div>	<div>652</div> <div>120</div> <div>80</div>		Pomme de terre Oignon sec et vert Petit pois Courgette Salade Haricot vert + blanc Ail Pastèque Melon Concombre Fève vert Tomate industrie	<div>62</div> <div>09</div> <div>06</div> <div>02</div> <div>02</div> <div>40</div> <div>02</div> <div>10</div> <div>30</div> <div>01</div> <div>50</div> <div>70</div>	540

3.3 L'irrigation

L'irrigation a constitué une voie privilégiée du développement agricole et a bénéficié d'une attention particulière des pouvoirs publics.

3.3.1 L'agriculture de la grande hydraulique :

L'irrigation du périmètre se fait à partir du réseau d'irrigation, celui-ci est un dispositif composé d'organes permettant la répartition, la prise en charge et la distribution de l'eau pour chaque exploitation agricole. L'eau d'irrigation est acheminée aux différents secteurs par l'Oued Seybouse assurée par les lâchés du barrage Bouhamdane. L'irrigation par aspiration est l'une des principales techniques d'irrigation utilisée au sein du périmètre. C'est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie.

Les secteurs d'El Fedjoudj, Guelma et Boumahra Ahmed font partie de la plaine de Guelma où chacun possède sa prise d'eau dans l'Oued Seybouse. La plus grande superficie est celle du secteur de Guelma (1711.82 ha) suivie par le secteur de Boumahra Ahmed (1419.8 ha). Il est important de rappeler que les forages d'exploitation de la nappe alluvionnaire se situent à l'intérieur du périmètre (Brahmia, 2009).

Tableau 6: Évolution des superficies irriguées en (ha) par groupe de culture dans le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf : Compagne (1997/2007).

Cultures	Compagne										
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Pomme de terre	423	454,5	628	1383,4	1324	2028	1130	990	841	726	866
Culture maraîchère	307	426	759,3	851,2	1175	1001	1243	1560	1367	1572	1528,6
Arboriculture	61	91,83	83,37	128,4	136	350	255	249	278	416	442,5
Culture industrielle	63	145,2	238,8	271,2	337	648	555	688	800	656	595,5
Culture fourragère	15	126,3	12,4	144,4	106	214	30	23	91	301	25,85
Superficie totale (ha)	871	1244	1722	2779	3060	4241	3213	3510	3377	3671	3460

Source : (ONID, 2009).

3.3.2 L'agriculture de la petite et la moyenne hydraulique :

La superficie irriguée par la petite et la moyenne hydraulique dans la zone d'étude est de l'ordre de 531 ha. Cette superficie est irriguée essentiellement à partir des puits, forages sources et fils d'eau. Le volume total produit ne dépasse pas 1 hm³/an (DHW, 2006).

3.3.3 Demande en eau d'irrigation

L'accroissement de la superficie irriguée dans les horizons projetés engendre non seulement une augmentation des besoins en eau d'une façon considérable mais aura aussi des répercussions sur les ressources en eau qu'elle soit souterraine ou superficielle. Elle représente une menace sur les réserves du moment qu'on projette une augmentation de 2000 ha toutes les cinq années, avec une dose moyenne annuelle de l'ordre de 4500 m³ /ha/an.

Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent donc à 22.83 hm³ /an en 2006 pour atteindre un volume de 57.03 hm³/an en 2030. Il est à noter que le bilan d'eau pour le secteur agricole est déficitaire. Ce déficit s'élève à 5.53 hm³ /an et peut atteindre les 39.73 hm³ /an en 2030. Le taux de satisfaction des besoins en eau des terres irrigables dans le bassin est de l'ordre de 75.88% ce qui représente 17.3 hm³ /an des 22 hm³ /an de la demande (Mouchara, 2009).

Tableau 7 : Évolution des terres irriguées et des besoins en eau d'irrigation dans le bassin de Guelma (DSA, 2011).

Années	2006	2010	2015	2020	2030
Surface agricole irrigable (ha)	5074,11	6674,11	8674,11	10674,11	12674,11
Besoins en eau hm ³ /ans	22,83	30,03	39,03	48,03	57,03

CHAPITRE II : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES DES EAUX USÉES TRAITÉES**Introduction**

La région de Guelma endure une insuffisance des pluies et leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique, les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. Le déficit hydrique, le changement climatique et l'intensification de l'agriculture font que l'irrigation est devenue une nécessité. Pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau et afin de préserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable, la réutilisation des eaux usées en agriculture fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes les ressources disponibles. Il est important de mettre en place des programmes de recherche relatifs à la fixation de modalités d'utilisation des eaux usées traitées dans les conditions agro-climatiques du Nord Est algérien (Xanthoulis, 2011).

L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures (notamment les cultures maraîchères) ou l'arrosage d'espaces verts (ouverts au public) présente un certain niveau de contamination. Une désinfection d'un ou des rejets d'eaux résiduaires dans le bassin versant amont est obligatoire. Ces dernières années des problèmes sanitaires dus à la l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation sont plus fréquents. Une analyse physicochimique et microbiologique de la qualité des eaux usées traitées s'impose pour connaître les performances épuratrices des différents systèmes et particulièrement l'élimination des bactéries pathogènes qui constitue une étape indispensable dans la gestion et l'évolution des solutions à mettre en œuvre pour améliorer globalement les rendements épuratoires (Makni, 2002).

Ce chapitre consiste à déterminer la qualité physicochimique et microbiologique des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma. L'objectif de l'analyse physicochimique est la détermination des paramètres de caractérisation des eaux usées traitées qui constitue un bon moyen pour donner l'image de la qualité de ces eaux destinées à l'irrigation. Le but de l'analyse microbiologique est de rechercher les microorganismes bactériens qui sont susceptibles d'être pathogènes tels que les salmonelles, shigelles, les streptocoques et ceux qui sont indicateurs de contamination fécales comme les coliformes fécaux et les streptocoques.

1. Définition de la pollution des eaux

1.2 La pollution hydrique

Un milieu aquatique est dit pollué lorsque son équilibre a été modifié de façon durable par l'apport en quantités importantes soit de substances plus ou moins toxiques d'origine naturelle ou issues d'activités humaines, soit d'eaux chaudes (Cunningham et *al.*, 2001). La pollution de l'eau est définie comme toute modification résultant d'une activité humaine ou naturelle des propriétés physiques, chimiques ou biologiques de l'eau de façon à la rendre dangereuse ou préjudiciable pour la santé, la sécurité et le bien être public (GPW, 2000).

1.2.1 Pollution d'origine domestique

Les eaux usées domestiques non épurées représentent la principale source de pollution organique des eaux. Les eaux ménagères contiennent des détergents, des résidus organiques, des solvants, des parfums, des agents de blanchissage et des adoucissants. Les produits nettoyants domestiques sont constitués de milliers de produits chimiques de formes variées (de petites molécules simples à de grosses molécules très complexes) et dont la persistance dans l'environnement varie de quelques heures à quelques années (Bekhouche, 2008).

Le réseau d'assainissement de la ville de Guelma est un réseau unitaire. Environ 85% des égouts lui sont raccordés. Il est divisé en deux parties, la première donne sur un rejet situé à proximité de la route nationale N° 20 déversant sur l'Oued Maïz, la seconde sur un rejet traversant la ville ; Oued Skhoûn (Mouassa, 2006). Les eaux usées des agglomérations sont déversées dans les affluents des principaux cours d'eau. En effet Oued Skhoune, Oued Maïz, Oued Zimba, Chaabat Maamoura, Oued Boussora et Oued Hlia et d'autres affluents drainant des volumes importants des eaux usées des principales agglomérations tels que la ville de Guelma, Héliopolis, Oued Zenati, Bouchegouf, Belkheir et Boumahra en traversant la nappe alluvionnaire avant d'atteindre l'Oued Seybouse et ses affluents (Mouchara, 2009).

La nappe de Guelma est actuellement menacée par les rejets des eaux usées urbaines qui sont rejetées sans traitement préalable dans l'Oued Seybouse. Ce dernier draine toutes les eaux usées de la ville et des villages situés aux alentours du bassin (Nouar, 2007). Le tableau (8) montre l'état d'assainissement dans la wilaya de Guelma et les volumes des rejets des eaux usées domestiques de chaque commune.

Tableau 8: Rejets des eaux usées domestiques : Cas d'assainissement de la wilaya de Guelma (DHW, 2007).

Commune	Population 2006	Horizons		Volume de rejets (m ³ /jour)	Type	Lieu de rejets
		Population 2020	Population 2050			
Guelma	135684	173224	292362	13026	urb	Oued Seybouse
Ben Djerah	5093	6502	10974	489	s/urb	Chaàbat
Guelaàt B.S	5826	7438	12553	559	s/urb	Chaàbat
Nechmaya	10971	14006	23640	1053	s/urb	Chaàbat
Bekheir	18057	23053	38908	1733	urb	Chaàbat
Boumahra.A	18423	23520	39697	1769	urb	Oued Seybouse
Djeballah.k	4672	5965	10067	449	s/urb	Chaàbat
Beni Mezline	5407	6903	11651	519	s/urb	Chaàbat
Boucheouf	25878	33038	55760	2484	urb	Oued Seybouse
Ain Ben Beida	10655	13603	22959	1023	s/urb	Chaàbat
Oued Fragha	8083	10319	17417	776	s/urb	Oued Seybouse
Medjez Sfa	9080	11592	19565	872	s/urb	Oued malleh
Oued Zenati	34014	43425	73291	3265	urb	Oued Zenati
Ain Regada	8871	11325	19115	852	s/urb	Oued Zenati
Bordj Sabat	11968	15279	25788	1149	s/urb	Oued Zenati
Ain Makhouf	13595	17356	29294	1305	urb	Chaàbat
Ain laàrbi	9448	12062	20358	907	s/urb	Chaàbat
Tamlouka	20471	26135	44109	1965	urb	Chaàbat
Ain Hassainia	7663	9783	16512	736	s/urb	Oud Charef
Medjez Amar	7768	9917	16738	746	s/urb	Oued Seybouse
S.Anouna	3622	4624	7804	348	s/urb	Chaàbat
Ras El Agba	2940	3753	6335	282	s/urb	Chaàbat
Khezaras	9867	12597	21261	947	S/urb	Chaàbat
Bouhachana	6771	8644	14590	650	s/urb	Chaàbat
Ain Sandel	6142	7841	13234	590	s/urb	Chaàbat
Héliopolis	27294	34845	58811	2620	urb	Oued Seybouse
Bouati.M	10445	13335	22506	1003	s/urb	O/El Hammam
El Fedjoudj	9133	11660	19679	877	s/urb	Chaàbat
H.Debagh	16419	20974	35400	1577	urb	O. Bouhamdane
Roknia	12178	15547	26240	1169	s/urb	Chaàbat
Bouhamdane	5459	6969	11763	524	s/urb	O.Bouhamdane
H.N'bail	19316	24660	41621	1854	urb	O/H/Nbail
Dahouara	9396	11996	20246	902	s/urb	O/H/Nbail
Oued Cheham	14277	18227	30763	1371	urb	Chaàbat
Total Wilaya :	524896	670120	1131008	50390	-	-

1.2.2 Pollution d'origine industrielle

Les caractéristiques des eaux usées industrielles subissent de grandes variations, elles dépendent d'une multitude de paramètres : type de l'industrie (production, nettoyage), les différentes étapes du procédé industriel et l'état des appareils. Ces eaux peuvent être troubles, colorées, contenir des matières en suspension, des matières organiques ou minérales dissoutes, des produits acides ou alcalins, des sucres, des huiles, des métaux lourds et des hydrocarbures (Richard, 1996).

Les trois zones industrielles les plus importantes au niveau de la wilaya de Guelma sont situées respectivement à l'amont de Oued Zimba (zone d'alimentation de la nappe alluvionnaire) sur la rive gauche de Oued Maïz (cité frères Rahabi) et au Sud d'El Fedjoudj sur la rive gauche de l'Oued Seybouse.

Les installations industrielles de la ville sont classées et recensées par l'inspection de l'environnement de l'année 2006 et sont présentées dans le tableau (10). Après une enquête faite auprès des services d'assainissement, l'endroit de déversement (affluent) pour chaque installation classée a pu être identifié. Cette information est essentielle pour déterminer les teneurs des différents polluants dans les eaux d'irrigation qui sont l'exutoire de tous ces rejets et leur relation avec les apports polluants des affluents de l'Oued Seybouse. (Mouassa, 2006).

Les stations de carburant et celles assurant le lavage et la vidange des véhicules sont des sources de pollution potentielle. L'eau de lavage contient de l'huile, des lubrifiants, du goudron, des matières en suspension, des métaux lourds et des micro-organismes qui finissent dans le sol et pénètrent par infiltration dans les eaux souterraines (Mouchara, 2009). Le tableau (9) donne un aperçu sur la répartition des stations de lavage et vidange de la région de Guelma.

Tableau 9: Répartitions des stations de lavage et vidange de Guelma (Mouchara, 2009).

Région	Hamam Debagh	El Fedjoudj	Héliopolis	Guelma	Belkheir	Boumahra Ahmed	Boucheougouf
Nombre de stations	1	1	2	7	2	2	1

Tableau 10: Les installations industrielles recensées et classés de la ville de Guelma et les milieux récepteurs de leurs rejets (DHW, 2007).

Nature de l'activité	Nombre	Milieu récepteur	Caractéristiques des rejets.
Raffinerie de sucre	1	Oued Maiz	Forte concentration en matière en organique dissoute et en suspension.
Fabrication de la céramique vaisselle	1	Oued Maiz	Teneur élevé en MES, Kaolin, Cd, Pb, Cr.
Fabrication de marbre et/ou carrelage	5	Oued Maiz Oued Seybouse Chaabet Maarmoura Oued Boussora	Teneur élevé en MES, ciment blancs.
Fabrication de faïences	1	Oued Maiz	Teneur élevé en MES, Pb, Cd.
Fabrication de vélo et motocyclette	1	Oued Maiz	Ni, Cr, Fe.
Boissons gazeuses	7	Oued Maiz Oued Skhoun	Alcalinité élevée, Teneur élevée en MES, détergents, DBO.
Station de lavage et dégraissage	11	Oued Maiz Oued Skhoun	Graisse, Pb.
Imprimerie	8	Oued Maiz Oued Skhoun	Résidus d'encre, huiles usagées, solvants.
Abattoir	1	Oued Skhoun	Forte concentration en matière organique dissoute et en suspension.
ORAVIE	1	Chaabet Maarmoura	Forte concentration en matière en organique, germes pathogènes.
Laiterie	1	Oued Seybouse	Forte concentration en matière organique dissoute.
Conserverie de tomate	1	Oued Seybouse	Teneur élevée en MES, matières organiques dissoutes, pH parfois alcalin.
Moulin	3	Oued Seybouse Oued Zimba	Teneur élevée en MES
Fabrication de l'eau de Javel	2	Oued Maiz Oued Skhoun	Chlorure

1.2.3 Pollution d'origine agricole

La wilaya de Guelma conserve sa terre agricole potentielle avec une superficie totale de 266.000 ha, une superficie agricole utile de 187.338 ha (soit 70,4% de la superficie globale) et une superficie irriguée près de 17.343 ha. Les cultures qui y sont pratiquées sont les cultures maraichères, fourragères, industrielles et les grandes cultures.

L'utilisation des pesticides et des engrais en agriculture constitue une source de pollution par les nitrates, phosphates et les résidus des pesticides. En plus, Les élevages intensifs avec un important cheptel bovin (70 000 têtes), ovins (195 000 têtes) et caprin (42 000 têtes) peuvent produire une grande quantité de déjections azotées qui sont à l'origine de la pollution des eaux de surfaces et souterraines (DSA, 2012).

La nature et les quantités des fertilisants utilisés au niveau du périmètre d'irrigation au niveau de la wilaya de Guelma sont indiqués dans le tableau (11),

Tableau 11: Types et quantités de fertilisants utilisés dans la wilaya de Guelma durant la campagne (2005 – 2006).

Espèces	Objectifs	T.S.P 46%	Urée 46%	N.P.K 15.15.15
Blé dur	300 ha	450 qx	450 qx	-
Blé tendre	50 ha	75 qx	75 qx	-
Orge	100 ha	100 qx	100 qx	-
Avoine	20 ha	20 qx	20 qx	32 qx
Fève	16 ha	-	-	30 qx

Source : Le délégué agricole de la commune.

2. Techniques et procédés d'épuration des eaux usées

2.1 Procédés physico-chimiques

Ils consistent à alourdir les particules colloïdales en suspension par des techniques de floculation (injection massive de charbon actif ou en poudre) afin de former des floccs qui se décantent rapidement. Ces procédés permettent l'élimination de 70 à 80% de matières en suspension et une réduction de la charge organique. Ces performances restent inférieures à celles du traitement biologique (Gomella, 1983).

2.2 Procédés biologiques

Ils visent à réduire la teneur en matières organiques des eaux usées par leur dégradation biologique. Deux systèmes sont distingués, les systèmes intensifs et les systèmes extensifs.

2.2.1 Systèmes intensifs

Ils regroupent les systèmes à cultures fixes et ceux à cultures libres.

a) Systèmes à cultures fixes

Le principe consiste à faire ruisseler les eaux usées décantées sur des matériaux poreux recouverts d'un biofilm sur lequel se développent des cultures bactériennes. Ces cultures se nourrissent de la matière organique permettant ainsi l'élimination d'une fraction importante de la pollution. A partir de ce principe, plusieurs variantes ont été développées, parmi lesquelles :

-Les lits bactériens où le milieu support peut être une roche fragmentée en petits blocs.

-Les disques biologiques ayant pour support des disques parallèles tournant à faible vitesse et qui sont immergés sur la moitié de leur hauteur (CNRST, 2002).

b) Systèmes à cultures libres

Appelés aussi systèmes des boues activées. L'effluent biodégradable est mis en contact avec des amas biologiques floculés et maintenus en surface grâce à une agitation. Ces amas assurent la dégradation de la matière organique dans des conditions d'aérobie. L'effluent passe ensuite dans un bassin de décantation secondaire où les boues subissent une séparation (Bouhoum, 1987).

2.2.2 Systèmes extensifs

Se sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou bien à l'aide de cultures libres utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par la photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

a) Cultures fixées :

Infiltration-percolation : La filtration sur sable en milieu insaturé permet principalement une oxydation de la matière organique, une nitrification de l'azote ammoniacal, une réduction des germes pathogènes et l'élimination des MES qui persistent au prétraitement (MAGE, 2007).

Filtre planté à écoulement vertical : les végétaux enracinés émergents sont plantés sur un support (sable, gravier). La circulation de l'eau est assurée par un apport à la surface du filtre et un drain de collecte en fond de massif, ce qui conduit à un écoulement de type vertical.

Filtre planté à écoulement horizontal : Les végétaux enracinés émergents sont plantés sur un support en place (sol) ou rapporté sur (sable, gravier). La circulation de l'eau se fait grâce à des gabions latéraux à chaque extrémité du filtre qui conduit à un écoulement à dominance horizontale (Boutin, 2000).

b) Cultures libres :

Lagunage naturel : La profondeur des lagunes naturelles est faible de façon à permettre une pénétration suffisante de la lumière et éviter la croissance des macrophytes (Cemagref, 1997).

Lagunage à macrophyte : Cette filière d'épuration s'appuie sur le pouvoir épurateur des végétaux aquatiques : algues, hydrophytes et héliophytes. Les eaux usées séjournent dans une série de bassins à ciel ouvert peuplés de ces végétaux.

Lagunage aéré : Ces lagunes ont des profondeurs qui peuvent atteindre 2,5 à 3 m. L'apport d'oxygène est assuré de façon artificielle : aérateur flottant ou fixé (Degrement, 1989).

2.3 La méthanisation

C'est un procédé anaérobie conduisant à la production de gaz carbonique et de méthane (combustible), il est utilisé essentiellement dans l'industrie alimentaire. L'eau à traiter traverse un réacteur fermé et relié à un stockage de gaz (Baritse, 1989).

3. La réutilisation des eaux usées épurées

3.1 Bilan mondial

La réutilisation des eaux usées épurées en l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques dans le monde couvrent respectivement 70%, 20%, 10% de leur demande en eau. Cette technique d'irrigation est utilisée essentiellement dans les pays réputés agricoles dont les ressources hydriques sont faibles comme le bassin méditerranéen et le Sud des États-Unis. La réutilisation des EUT a été développée dans les régions de l'Ouest et de l'Est des États-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (Ecosse, 2001).

Cependant, la réutilisation des eaux usées a connu ces dernières années un développement croissant avec des volumes d'eaux usées réutilisées qui sont de l'ordre de 10 à 29% par an, en Europe, aux États-Unis, en Chine et jusqu'à 41% en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint une valeur de 1,5 à 1,7 millions de m³ par jour dans plusieurs pays comme la Californie, la Floride, au Mexique et en Chine (Lazarova, 2007).

3.2 Réutilisation des eaux usées traitées en Algérie

Actuellement l'Algérie se penche vers cette technique et sa réutilisation en agriculture. Ceci nécessite dans un premier temps d'identifier et de quantifier les volumes d'eaux usées rejetés par les agglomérations à travers le pays. Le volume d'eaux usées rejetées annuellement par les agglomérations dépassant 20.000 habitants est estimé à 58 300 m³ par an. La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation concerne en priorité les zones déficitaires en eau naturelle qui devient de plus en plus rare (Medkour, 2002).

Un vaste programme consiste à réutiliser les eaux usées épurées en aménageant des périmètres à l'aval de chaque station d'épuration et lagune. Le potentiel de cette ressource est estimé à 750 millions de m³ et atteindra le volume de 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020 (Tamrabet, 2011). Le nombre de STEP en cours d'étude et de réalisation est de 12 pour l'irrigation de plus de 8 000 hectares de terres agricoles. Le potentiel de la réutilisation des EUT à des fins agricoles évolue d'une manière significative et le nombre de stations concernées sera de 25 STEP à l'horizon 2014 (ONA, 2011).

3.2.1 La réutilisation indirecte

Elle se fait après passage de l'eau dans le milieu naturel (oued, rivière, lac, barrage ... etc.). Sur les 75 stations d'épuration exploitées en Algérie à travers les 43 wilayas, 14 seulement sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. A la fin de 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³ par an pour ces 14 STEP et plus de 10 000 ha de superficie agricoles sont irrigués (ONA, 2011).

3.2.2 La réutilisation directe

La mobilisation des eaux usées épurées est très faible actuellement, le seul ouvrage existant est celui situé à l'aval de la station d'épuration de Bordj Bou Arreridj d'une capacité de 2 500 m³/jour destiné à l'irrigation d'un périmètre de 100 ha de superficie. Selon le programme 2009-2013, ce volume sera de 554 512 m³/j (Benbraika, 2013).

3.3 Intérêt de la réutilisation des eaux usées en agriculture

La réutilisation des eaux usées permet de fournir des quantités d'eau supplémentaire et d'assurer l'équilibre du cycle naturel de l'eau et une protection de l'environnement (Ouanouki, 2009). Elle constitue une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées (Xanthoulis et *al.*, 2002). La quantité importante des eaux usées rejetées incite les agriculteurs à l'utiliser sachant qu'elle est riche en éléments fertilisants tel que l'azote, le phosphore et le potassium qui sont nécessaires pour le développement des plantes et aussi pour la fertilisation du sol (Mara, 1989). L'utilisation des eaux usées traitées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les étendues d'eau fermées tels que les lacs et les étangs (Xanthoulis et *al.*, 2002). Le tableau (12) présente les bénéfices associés aux projets de la réutilisation des EUT.

Tableau 12: Typologie des bénéfices associés à la réutilisation des eaux usées.
(Condom et *al.*, 2012).

Secteur impacté	Bénéfices
Ressource en eau	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de la pression sur la ressource en eau potable, meilleure allocation, libération de volumes d'eau conventionnelle pour l'eau potable • Diversification des ressources, intégration de la REUT dans la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) REUT (production et transport) moins coûteuse que d'autres ressources non conventionnelles (ex. eau dessalée). • Maintien des niveaux piézométriques par recharge des aquifères. • Amélioration de la qualité des eaux de nappe. • Adaptation à la densité de population.
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Filière d'assainissement plus sûre (tampon sol/plante) voire plus économe (énergie). • Réduction des teneurs en nutriments dans les eaux de surface, de mer et de nappe. • Limitation de l'eutrophisation. • Restauration de la vie aquatique. • Lutte contre les intrusions salines. • Maintien des étiages, alimentation récréative (fontaines, lacs...) • Baisse de la consommation d'énergie dans les stations d'épuration et pour l'adduction d'eau. • Réduction des émissions de gaz à effet de serre. • Lutte contre la désertification par l'alimentation en eau de ceintures vertes.
Agriculture et espaces récréatifs	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la fertilité des sols par l'apport de nutriments et productivité accrue. • Réduction de la fertilisation traditionnelle (économie de fertilisants). • Sécurisation de la ressource en eau (notamment en situation de sécheresse). • Diversification vers des cultures à haute valeur ajoutée. • Valeur agronomique des co-produits des installations de traitement. • Sécurité alimentaire, développement, agriculture péri-urbaine.
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de vie (espaces verts) et des conditions sanitaires. • Contribution de l'agriculture à l'assainissement. • Approche concertée entre acteurs du territoire. • Maintien ou création d'emplois (agriculture péri-urbaine).

Tableau 13: Typologie des risques associés à la réutilisation des eaux usées.
(Condom et *al.*, 2012).

Secteur impacté	Risques	Aléas	Sensibilité (exposition)
Santé	<ul style="list-style-type: none"> • Risques microbiologiques : choléra, infections, diarrhées, allergies. • Risques chimiques : intoxication, cancers. • Dégradation qualité des produits agroalimentaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pathogènes. • Composés toxiques • Polluants émergents, perturbateurs endocriniens 	Exposition : public, usagers, consommateurs
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrophisation, pollution de nappes. • Odeurs. • Impacts des coproduits de traitements. (concentrations membranaires, boues). • Émissions de CO₂ (consommation d'énergie pour le traitement). 	<ul style="list-style-type: none"> • Azote, phosphore, composés toxiques, métaux lourds. 	Profondeur des nappes, sensibilité des milieux (zones côtières).
Sol et plantes	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité des plantes (sels) • Salinisation et dégradation des sols (eau salée) • Accumulation de polluants dans les sols 	<ul style="list-style-type: none"> • Salinité, métaux lourds. 	Sensibilité des cultures, fragilité des sols.
Perception	<ul style="list-style-type: none"> • Impact visuel (stockage). • Odeurs. • Rejet social (méconnaissance, peurs). • Tension si expropriation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gêne 	Niveau de perception, propension au Changement.
Distribution, équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Développement d'algues. • Corrosion, biofilm, bouchage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Matière organique, azote, phosphore, matières en suspension. 	Type de système d'irrigation.

3.4 Risques liés à la réutilisation des eaux usées traitées

Cette ressource qui constitue une valeur hydrique et un potentiel de matières fertilisantes important peut également être une source de pollution. Son contenu en éléments traces et en microorganismes pathogènes et sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour l'environnement. Une connaissance scientifique des effets directs et indirects des traitements et des suivis épidémiologiques est indispensable (AFD, 2011). Le tableau (13) présente les risques associés à la réutilisation des eaux usées traitées.

4. Critères de la qualité des eaux destinées à l'irrigation

4.1 Critères physicochimiques

4.1.1 Salinité

L'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est celle ayant habituellement une faible salinité. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient à l'irrigation. Des dommages potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel et à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et *al.*, 1985).

Tableau 14: Classes de la salinité des eaux d'irrigation (Richards, 1954).

Qualité de l'eau	Concentration de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
1. Excellente	0,25	160
2. Faible salinité	0,25 – 0,75	160 - 500
3. Forte salinité	0,75 – 2,25	500 – 1500
4. Très forte salinité	2,25 – 5	1500 - 3600

4.1.2 Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation. L'augmentation de l'alcalinité du sol peut se produire en présence de l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na et réduit la perméabilité du sol particulièrement en surface même après un lessivage. La vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité. Par conséquent, le SAR et EC_w (salinité) devraient être employés ensemble pour déterminer les problèmes potentiels éventuels (Rhoades, 1977).

4.1.3 Toxicité spécifique des ions

Les ions les plus toxiques rencontrés généralement dans l'eau usée traitée sont le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B). Le bore est un des éléments essentiels pour les cultures, à une concentration excédant 0,5 mg/l il peut être toxique aux cultures sensibles. Dans les régions arides et semi-arides, l'eau usée traitée peut avoir une concentration élevée en Cl et en Na à cause du contenu élevé de ces éléments dans les eaux domestiques (FAO, 2003).

4.1.4 Éléments traces et métaux lourds

Dans les pays ayant une industrie lourde, la réutilisation des eaux usées traitées présente un inconvénient majeur. Les métaux présents dans les eaux résiduaire {cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn)} peuvent constituer un risque sanitaire pour l'homme, les animaux et affecter les cultures irriguées. Dans ce contexte les pays développés ont établi des normes admissibles qu'il faut respecter. (Biswas, 1987).

4.1.5 Fertilisants dans les eaux usées traitées

Les nutriments contenus dans les EUT constituent une caractéristique spécifique qui intéresse particulièrement les agriculteurs. Pour cette raison, un code de bonnes pratiques agricoles en matière de fertilisation est développé. Il est supposé donner une nouvelle dimension à l'utilisation raisonnée, profitable et saine de l'eau usée traitée utilisée en irrigation (FAO, 2003).

4.2 Critères de qualité biologique

Les eaux usées contiennent des organismes pathogènes pour l'homme tels que des bactéries, (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Campylobacter*), des virus (entérovirus, adénovirus, coronavirus, rotavirus, virus de l'hépatite A et E) ainsi que des parasites (*Giardia* et *Cryptosporidium*). La durée de vie de ces micro-organismes dans le sol ou sur des terres en culture irriguées avec les EUT peut aller de quelques jours jusqu'à quelques mois. Les risques liés à ces agents pour l'homme sont principalement des infections entériques. Certains agents microbiens peuvent causer des infections respiratoires, cutanées, oculaires ou une hépatite (Gauvin et *al.*, 2006). Les voies d'exposition aux agents infectieux lors de l'utilisation du procédé d'irrigation avec des eaux usées traitées sont l'ingestion involontaire (le contact des mains et la bouche avec les surfaces arrosées) et l'inhalation des aérosols dispersés par le vent aux alentours des agglomérations. (Schwartzbrod, 2000).

4.2.1 Les bactéries

Les bactéries pouvant existées dans les eaux usées sont indiquées dans le (tableau 15).

Tableau 15: Les bactéries pathogènes dans les eaux usées.

Agent pathogène	Symptômes, maladies	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Bactéries :	----		
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Leptospirose		Ingestion
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Ingestion

4.2.2 Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau. Ils sont plus complexes et de taille plus importante que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes (tableau 15) sont des organismes parasites (Faby, 1997).

Tableau 16: Les protozoaires pathogènes dans les eaux usées.

Organismes	Symptômes, maladies	Nombre pour un litre	Voies de contamination principales
Protozoaires :	----		
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne.	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption.	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon.	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée.	0,3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre.		Ingestion/inhalation
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids.		Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée.		Ingestion

4.2.3 Les helminthes

Le tableau (17) regroupe les principaux helminthes se trouvant dans les eaux usées avec les pathologies qui leur sont associées.

Tableau 17: Les helminthes pathogènes dans les eaux usées.

Organismes	Symptômes, maladies	Nombre pour un litre	Voies de contamination principales
Helminthes :	----		
<i>Ascaris</i>	Ascaridiase : diarrhée, troubles nerveux.	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie.	6 à 188	Ingestion/Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie.		Cutanée
<i>Tænia</i>	Diarrhée, douleurs musculaires.		Ingestion de viande mal cuite
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale.	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale.		Ingestion
<i>Strongyloïdes</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée.		Cutanée
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, anorexie.		Ingestion

4.2.4 Les virus

Les virus sont abondants dans le milieu aquatique. Plus de 140 virus pathogènes peuvent être éliminés dans les fèces humaines regroupés sous le nom de virus entériques, ils appartiennent à plusieurs familles et genres (Schwartzbrod, 2000). L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut avoir lieu par inhalation (Baumont et *al.*, 2004). Dans le tableau (18), sont recensés la plupart des virus rencontrés dans les eaux usées avec les symptômes de la maladie qui leur est associée.

Tableau 18: Les virus dans les eaux usées.

Agent pathogène	Symptômes, maladies	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Virus	----		
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	vomissement, diarrhée		Ingestion/ inhibition
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus			
Poliovirus	Paralysie, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre		Ingestion

4.3 Critères techniques

Une attention particulière doit être portée aux constituants de l'eau usée traitée qui peuvent obstruer les systèmes d'irrigation. Le colmatage des asperseurs, des micro-asperseurs et des goutteurs peut être à l'origine de certains problèmes. L'accumulation (dépôts biologiques, bactéries, etc.) dans les arroseurs, les canalisations d'alimentation, les orifices de distribution peut provoquer un colmatage tout comme une concentration importante en algues et en matières en suspension. Les problèmes de colmatage les plus marquants se produisent avec les systèmes goutte à goutte (Berland, 1994).

5. Matériel et méthodes

5.1 Présentation et localisation du site de prélèvement

5.1.1 Présentation et localisation de la STEP

La station d'épuration de Guelma a été créée en 2008 et occupe un terrain agricole de 8 ha. Elle se situe à 1 km environ au Nord de la ville sur le flanc droit de la vallée développée par l'Oued Seybouse et sur la route nationale N° 21 menant à Annaba à la sortie de l'agglomération (ONA, 2011). Les responsables de la station se fixent comme objectif l'épuration de 43 388 m³/j d'eaux usées de la ville de Guelma qui sont collectées par deux stations de relevage, l'une se trouvant au niveau de la cité Ghehdour : point de rejet de Oued Lemaïz avec un débit de 1575 m³/h, et la seconde au niveau du point de rejet de Oued Skhoun (son débit est de 1125 m³/h) (Dadci, 2008).



Figure 11: Image satellitaire représentant la localisation de la station d'épuration de Guelma.
(Google Earth, 2013).

5.1.2 Principe et fonctionnement du système de traitement

Compte tenu de la qualité des effluents à traiter et du niveau de rejet requis, la filière de traitement utilisée au niveau de la STEP de Guelma est du type : boues activées à moyenne charge. A la sortie des égouts, les eaux usées urbaines sont traitées directement dans la station d'épuration. Une série de traitements primaires permettent d'éliminer rapidement les déchets les plus grossiers mais aussi les sables, les graisses, et les matières en suspension. Un traitement biologique est également effectué afin d'éliminer le reste de la pollution (STEP Guelma, 2012).



[1 : Prétraitement, 2 : Décanteur primaire, 3 : Bassin d'oxygénation, 4 : Clarificateur, 5 : Épaississeur, 6: Bassin de désinfection, 7 : Lit de séchage, 8 : Boue secondaire].

Figure 12: Configuration de la STEP de Guelma.

Tableau 19: Charges hydrauliques de la STEP de Guelma (ONA, 2011).

	Volume Journalier Eaux Usées (m ³ /j)	Volume maxi journalier temps pluie (m ³ /j)	Débit moyen temps sec (m ³ /j)	Débit moyen sec temps pluie (m ³ /j)
Charge première	32 000	43 388	1333	1807

5.2 Prélèvement des eaux

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate auquel il faut apporter le plus grand soin. Il conditionne les résultats et l'interprétation des données. Les analyses physicochimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de la station d'épuration de Guelma du mois de mars jusqu'au mois d'août 2010 (pendant la période d'irrigation) à raison de deux prélèvement par mois le matin de 10h-11h. Le site du prélèvement de l'eau épurée se trouve à la sortie de la STEP (Photo 1) les échantillons sont pris à partir de la vanne principale de déversement.



Photo 1: Site de prélèvement : Sortie de la STEP de Guelma.

(Bedouh, 2013).

5.3 Méthodes d'analyses physicochimiques

Les analyses physico-chimiques ont concerné les paramètres suivant : T°C, pH, le potentiel redox, la conductivité électrique, les matières en suspension (MES), la DBO₅, la DCO, les matières oxydables, nitrates, nitrites, les orthophosphates et l'ammonium. Les échantillons prélevés ont été mis dans des flacons en verre de 500 ml lavés et rincés selon les recommandations de (Rodier, 2005), puis acheminés au laboratoire d'analyse qui se trouve au même endroit. ,

5.3.1 Mesure de la température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle influe sur la densité de l'eau et joue un rôle primordial dans les phénomènes de stratification des lacs et des mers. Une élévation de la température perturbe fortement le milieu et elle peut être un facteur d'accroissement de la productivité biologique (Gaujous, 1995). La mesure de la température se fait directement sur le terrain en utilisant un thermomètre à mercure.

5.3.2 Mesure du pH, conductivité et potentiel redox

La mesure de ces paramètres est faite selon la méthode électrochimique. Un pH-mètre multifonctions (Multiline P4) est préalablement étalonné, ses deux électrodes sont plongées dans l'échantillon à analyser. L'appareil affiche directement le pH de la solution, sa conductivité en (mS/cm) et son potentiel redox en (mV).

5.3.3 Détermination des matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) constituent un ensemble de particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée.

La quantité des MES contenue dans l'eau épurée a été déterminée par la méthode de filtration sur des disques filtrants en fibres de verre (Whatman). L'eau a été filtrée et le poids de matière retenue par le filtre a été déterminé par pesé différentielle selon le protocole de (Rodier, 2005). La teneur en MES est exprimée en mg/l est donnée par la relation:

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

M_0 : Masse du disque filtrant avant l'utilisation (mg).

M_1 : Masse du disque filtrant après l'utilisation (mg).

V : Volume d'eau utilisé (mg).

5.3.4 Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Ce paramètre est un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau au cours des procédés d'autoépuration (Rejsek, 2002).

Le protocole de mesure est effectué selon la norme AFNOR (NF, T90-103). Le principe de cette méthode repose sur une mesure de l'oxygène,ensemencé ???????? avec des germes au bout de cinq jours, placé dans une enceinte à 20°C. Pour déterminer la DBO₅, deux mesures de l'oxygène dissout doivent être effectuées à l'instant: t₀= 0 jour et t₁= 5 jours.

- **Calcul des matières oxydable (MOx):** La matière biodégradable joue un rôle prépondérant de la qualité de l'eau dans les stations d'épurations (Servais, 1995). Elle est calculée selon l'équation suivante : $MOx = 2/3 DBO + 1/3 DCO$.

5.3.5 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène correspond à la quantité d'oxygène (mg/l) qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans l'eau. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel (Rodier, 2005).

La méthode appliquée est celle de la norme AFNOR (NF, T90-101) qui consiste à introduire 2 ml d'échantillon dans un milieu acide contenant le réactif approprié (solution commerciale composée de HgSO₄, H₂SO₄, Ag₂SO₄). L'ensemble est chauffé dans un four à DCO à 150°C pendant deux heures, après refroidissement la lecture se fait au spectrophotomètre à une longueur d'onde = 620 nm. La DCO est donnée en mg O₂/l.

5.3.6 Dosage des orthophosphates (PO₄³⁻)

Les concentrations des orthophosphates ont été déterminées par spectrophotométrie à absorption moléculaire en utilisant une longueur d'onde =700 nm selon la méthode de normalisation internationale (ISO 6878/1-1998).

5.3.7 Dosage des nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates (NO₃⁻) ont été évaluées par une méthode spectrométrique au diméthyl 2,6 phénols selon les normes internationales (ISO 7890-1:1986).

5.3.8 Dosage des nitrites (NO_2^-)

Les concentrations en nitrites ont été déterminées par une méthode spectrométrie d'absorption moléculaire, normalisée (ISO 6777-1984). La lecture a été effectuée en utilisant un spectrophotomètre réglé sur une longueur d'onde = 435 nm. Après avoir établi une courbe d'étalonnage.

5.3.9 Dosage d'ammonium (NH_4^+)

Les concentrations d'ammonium sont mesurées par une méthode de normalisation internationale (ISO 715/1-1998). Les ions NH_4^+ ont été dosés par colorimétrie suite à une catalyse en milieu alcalin par une solution de nitroprussiate de sodium.

5.4 Méthode d'analyses microbiologiques

Les prélèvements des échantillons des eaux épurées en vue d'une analyse microbiologique se fait dans des flacons en verre stérilisés selon un mode de prélèvement précis afin d'éviter toute contamination accidentelle.

Les analyses bactériologiques des EUT ont été effectuées au niveau du laboratoire de la direction de la santé de Guelma (DDS) pendant la période : Mars - Juillet 2010 (une fois par mois) concernant les paramètres suivants : les coliformes totaux, les coliformes fécaux, la flore mésophile, les streptocoques D, les staphylocoques, les salmonelles et les shigelles (Figrella et *al.*, 2001).

Nous avons utilisé des flacons en verre borosilicatés de 500 ml préalablement stérilisés à l'aide d'un autoclave à 120°C pendant 20 mn. Les bouchons sont lavés, rincés, séchés et emballés dans du papier kraft en aluminium et stérilisés à l'autoclave. Pour stabiliser les échantillons et ralentir toutes les réactions éventuelles, 5 gouttes d'une solution de tio-sulfate de sodium à 10% sont rajoutées pour éviter certaines transformations au cours du transport ou interférences au moment de l'analyse au laboratoire. Les échantillons sont ensuite transportés dans une glacière au laboratoire où ils ont été conservés au réfrigérateur entre 0°C et 4°C (Rodier, 2005).

La détermination du nombre le plus probable des germes (NPP) est une estimation statistique du nombre de ces germes dans un milieu liquide (Joy et *al.*, 2003).

5.4.1 Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Ce groupe contient toutes les bactéries aérobies ou anaérobies facultatifs, Gram négatif, asporulées, en forme de bâtonnets, mobiles ou non (Cardinal et *al.*, 2003). Le dénombrement des coliformes a été effectué sur milieu Mac Conkey par la méthode de NPP (Rodier, 2005). La séparation entre coliformes totaux et coliformes fécaux est basée sur la température d'incubation et fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- **Test présomptif** : réservé à la recherche des coliformes totaux, fait sur un milieu sélectif (bouillon lactose), sa fermentation se traduit par un dégagement de gaz dans la cloche de Durham et devient trouble après une incubation à 37°C.
- **Test confirmatif** : réservé pour la recherche des coliformes fécaux sur un milieu plus sélectif (VBL) à une température de 44°C, à partir des tubes positifs du test présomptif.

5.4.2 Dénombrement des streptocoques

La technique de recherche des Streptocoques fécaux nécessite deux tests :

- **Test présomptif** : réalisé sur le milieu de Rothe (bouillon à l'azide de sodium). les tubes sont incubés à 37°C et examinés après 24 et 48 heures. Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période sont présumés contenir un streptocoque fécal et sont soumis au test confirmatif.
- **Test confirmatif** : se fait par repiquage des tubes positifs sur le milieu d'Eva Litsky. Après incubation à 37°C pendant 24 heures, tous les tubes présentant une culture et un jaunissement seront considérés comme positif.

Nous notons le nombre des tubes positifs dans chaque série et nous les reportons aux tables de NPP pour connaître le nombre de streptocoques fécaux présents dans 100 ml d'échantillon (Rejsek, 2002).

5.4.3 Dénombrement de la flore mésophile

Les bactéries aérobies mésophiles hétérotrophes ne sont pas des germes indicateurs de contamination fécale. Cependant ils sont recherchés dans certaines eaux à 22°C et à 37°C car ils peuvent parfois exprimer un risque de contamination microbienne au delà d'un certain seuil (Dellarras, 2007).

Le dénombrement est réalisé sur gélose standard glucosée à l'extrait de levures appelée PCA (Plate Count Agar) par ensemencement en profondeur de 1 ml des dilutions 10⁻¹ à 10⁻⁶. La lecture des boîtes est faite après 48 heures d'incubation à 30°C selon les recommandations de la norme française NF.04-S05.

5.4.4 Détection des staphylocoques, salmonelles et shigelles

Les méthodes d'analyse montrant la présence ou l'absence des staphylocoques, salmonelles et shigelles sont indiquées dans (le tableau 20).

Tableau 20: Références et méthodes analytiques utilisées pour la recherche des germes.

Germes recherchée	Méthodes	Références
<i>Staphylocoque</i>	Milieu d'isolement : Chapman-milieu Baird paker, incubation à 37°C, test catalase-test de la coagulase-identification biochimique.	(Rodier, 2005)
<i>Salmonelle</i>	Milieu d'enrichissement : séléinité de sodium Milieu d'isolement : Gélose S-S, Mac Conkey, Gélose hectoen-Description de la bactérie avec la coloration de Gram, Test de l'oxydase, Identification à travers la galerie biochimique classique.	(Rejsek, 2002)
<i>Shigelle</i>		(Rejsek, 2002)

6. Résultats

6.2 Résultats des analyses physicochimiques

- La température

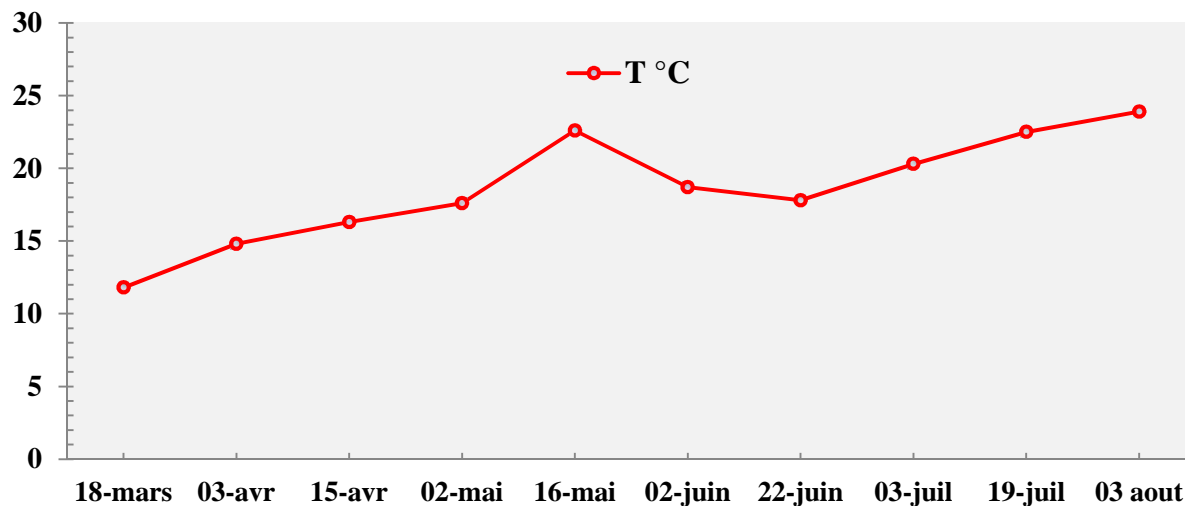


Figure 13: Variations de la température des eaux usées traitées.

Les variations de la température des eaux usées traitées par la station de Guelma sont illustrées sur la figure (13). Les valeurs oscillent entre 11,8°C et 23,9°C, avec une moyenne de 18,63°C.

- Le pH

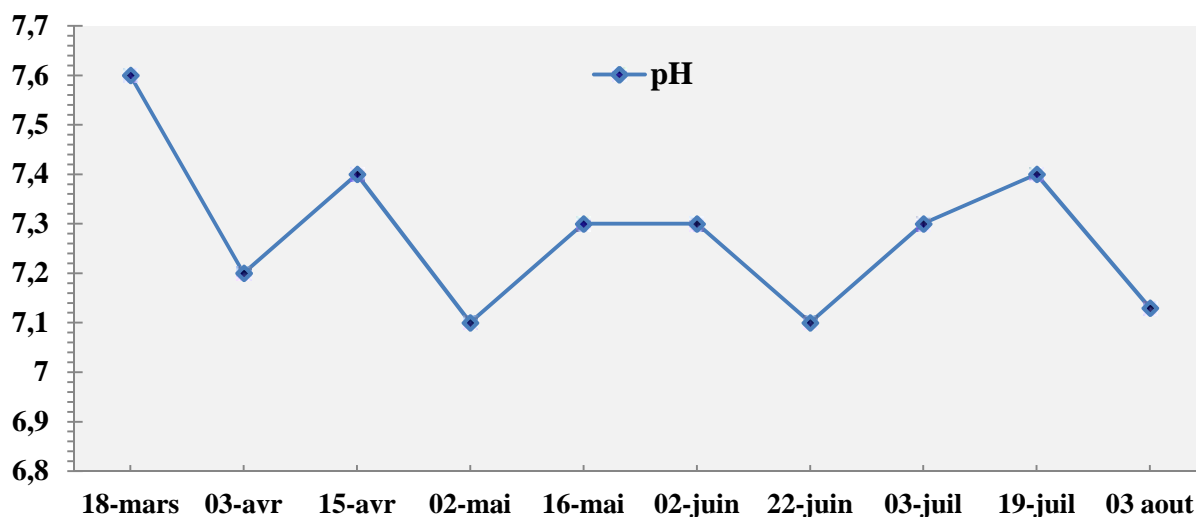


Figure 14: Évolution du pH des eaux usées traitées.

La figure (14) représente les valeurs de pH des eaux usées traitées enregistrées au cours de la période d'étude. Ces valeurs se situent entre 7,1 et 7,6 avec une moyenne de 7,27.

- **Le potentiel redox**

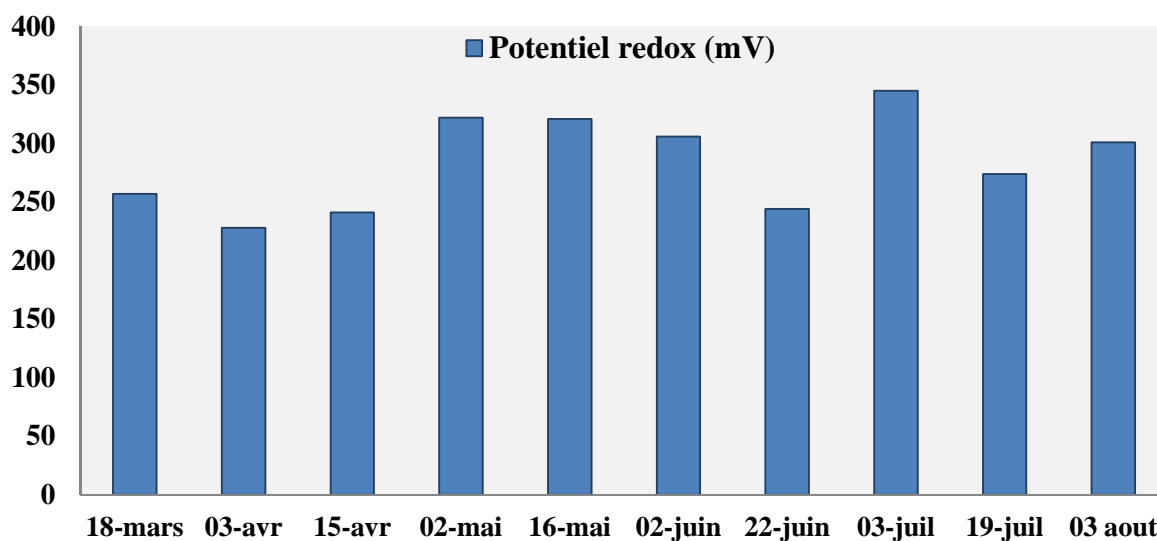


Figure 15: Évolution du potentiel redox des EUT en fonction du temps.

La figure (15) illustre l'évolution du potentiel redox des eaux usées traitées pendant la période d'expérimentation. Les valeurs obtenues varient entre 228 mV et 345 mV. Elles demeurent positives ce qui indique un pouvoir oxydant important.

- **Les matières en suspension**

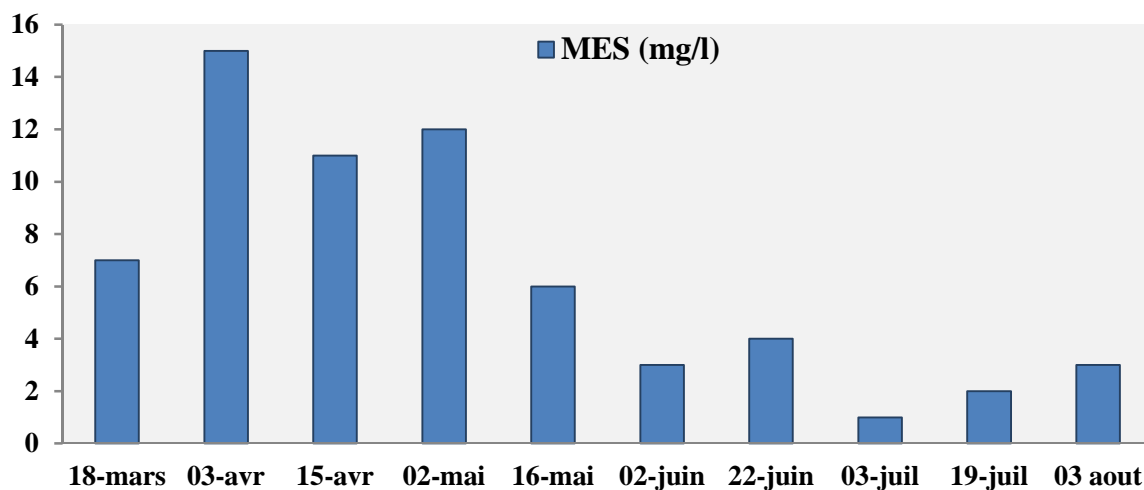


Figure 16: Évolution des matières en suspension des EUT.

Les résultats de dosage des matières en suspension (figure 16) montrent que les eaux usées épurées sont caractérisées par des teneurs comprises entre 0,9 et 15 mg/l. L'évolution temporelle montre deux périodes bien distinctes : une période du printemps où les teneurs en (MES) sont entre 6 et 12,1 mg/l et une période de l'été où elles sont inférieures à 4 mg/l.

- **La conductivité électrique**

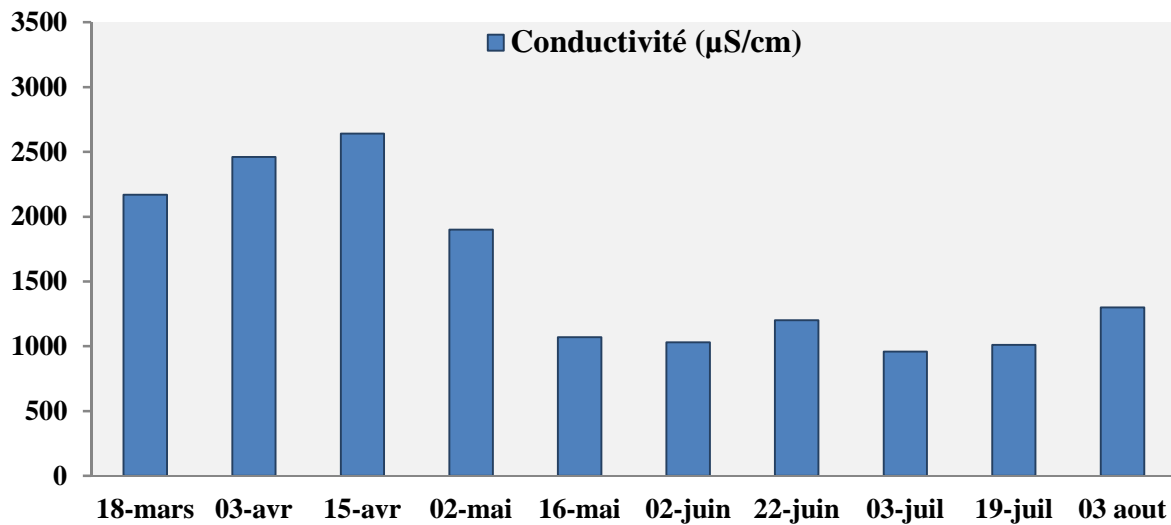


Figure 17: Variation temporelle de la conductivité électrique des eaux usées épurées.

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au niveau des EUT de la station d'épuration de Guelma sont présentées dans la figure (17). Ces valeurs oscillent entre 970 $\mu\text{S/cm}$ à 2700 $\mu\text{S/cm}$ avec une moyenne de 1574 $\mu\text{S/cm}$.

- **La demande biologique en oxygène (DBO₅)**

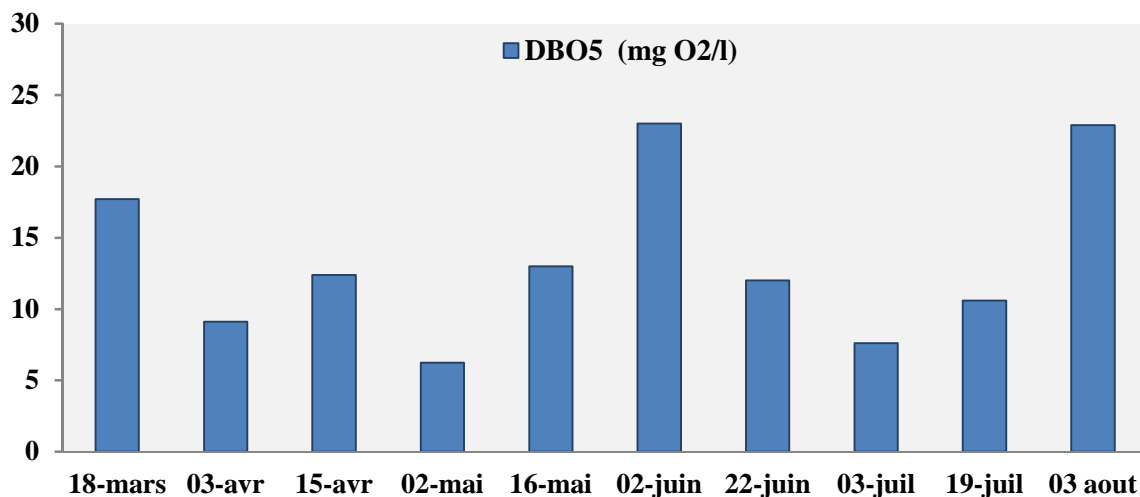


Figure 18: Variations de la demande biologique en oxygène (DBO₅) des EUT.

La demande biologique en oxygène est un paramètre intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux. Les variations de la DBO₅ pendant l'expérimentation sont indiquées sur la figure (18). Elles varient de 6.25 mg O₂/l à 23,1 mg O₂/l avec une moyenne de 13,46 mg O₂/l.

- **La demande chimique en oxygène (DCO)**

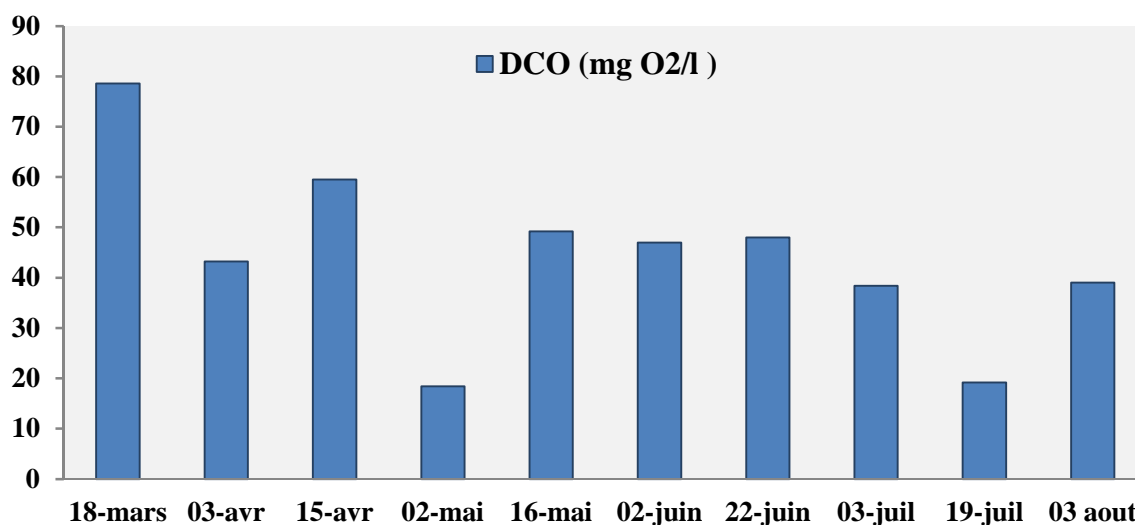


Figure 19: Variations de la demande chimique en oxygène (DCO) des EUT.

Les résultats obtenus concernant les variations de la demande chimique en oxygène (DCO) sont illustrés dans la figure (19). Nous constatons que les concentrations de la DCO des eaux usées traitées oscillent entre 18,4 mg O₂/l 78,6 mg O₂/l. la valeur moyenne enregistrée est de 44,05 mg O₂/l.

- **Les matières oxydables**

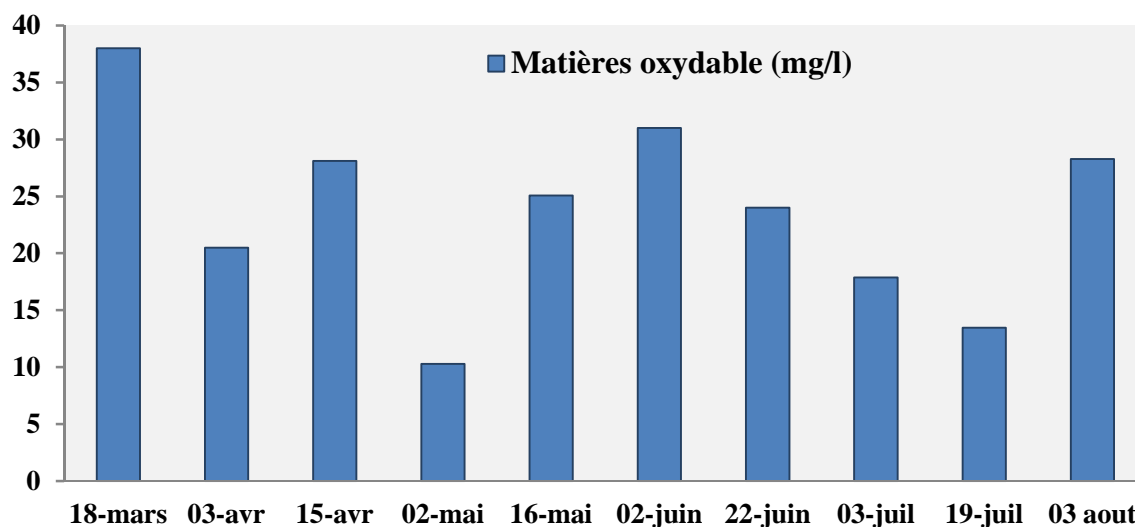


Figure 20: Variations des teneurs des matières oxydables des EUT.

L'évolution des matières oxydables au niveau des EUT est représentée dans la figure (20). Nous remarquons que les valeurs des matières oxydables varient entre 38 mg/l et 10,3 mg/l avec une moyenne de 24,95 mg/l.

- **Les orthophosphates**

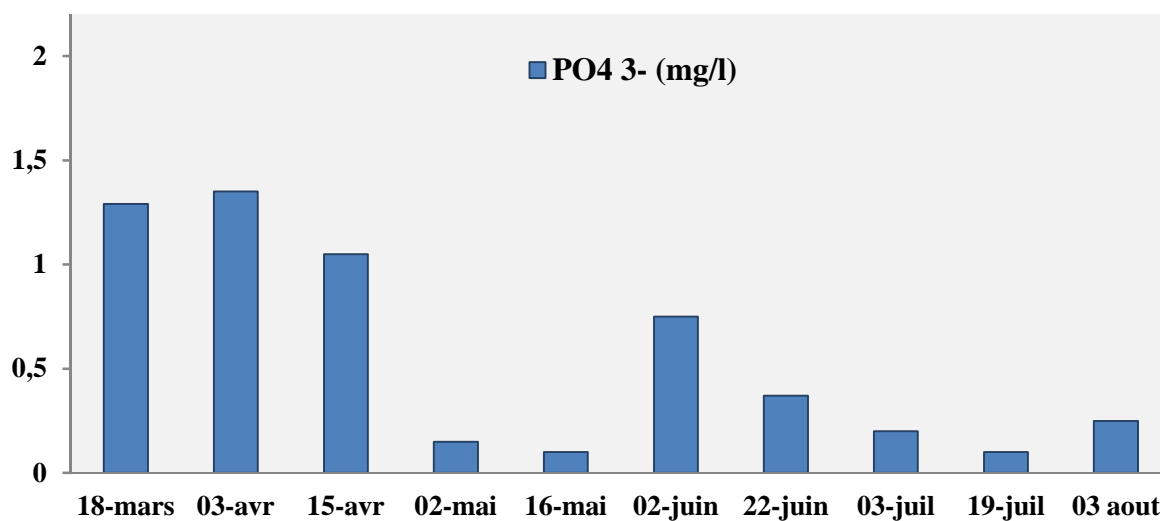


Figure 21 : Évolution des taux d'orthophosphates au niveau des eaux usées traitées.

La figure (21) exprime les taux d'orthophosphates dans les EUT de la station de Guelma. Les résultats obtenus révèlent des concentrations relativement faibles variant de 0,1 mg/l à 1,36 mg/l. Les taux de PO_4^{3-} supérieurs à 1 mg/l sont observés seulement durant la période [mars-avril].

- **L'ammonium**

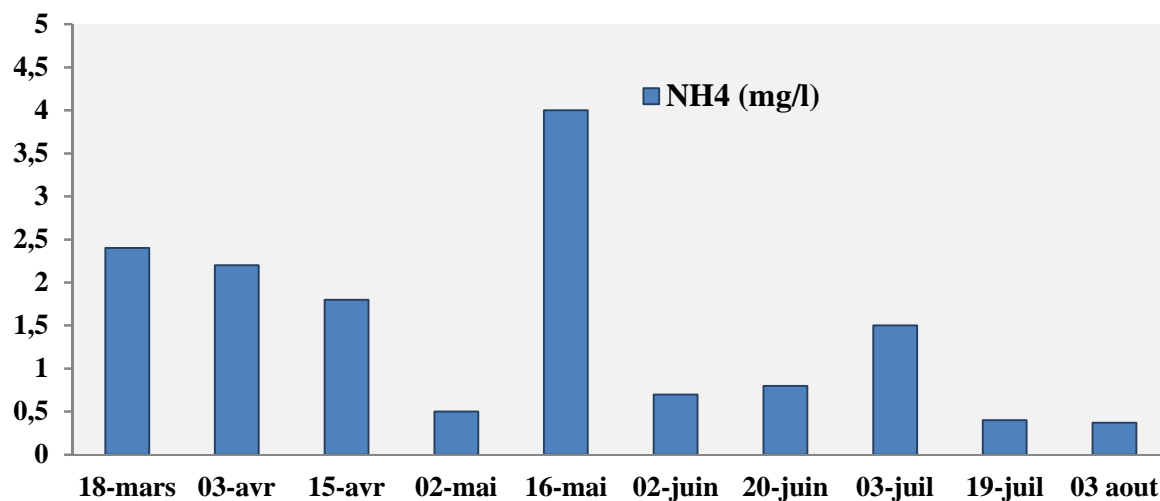


Figure 22: Évolution temporelle des taux d'ammonium au niveau des eaux usées traitées.

Les Variations des taux d'ammonium au niveau des EUT sont illustrées dans la figure (22). Les valeurs enregistrées oscillent entre 0,4 mg/l et 4,2 mg/l avec une moyenne de 1,47 mg/l.

- Les nitrites

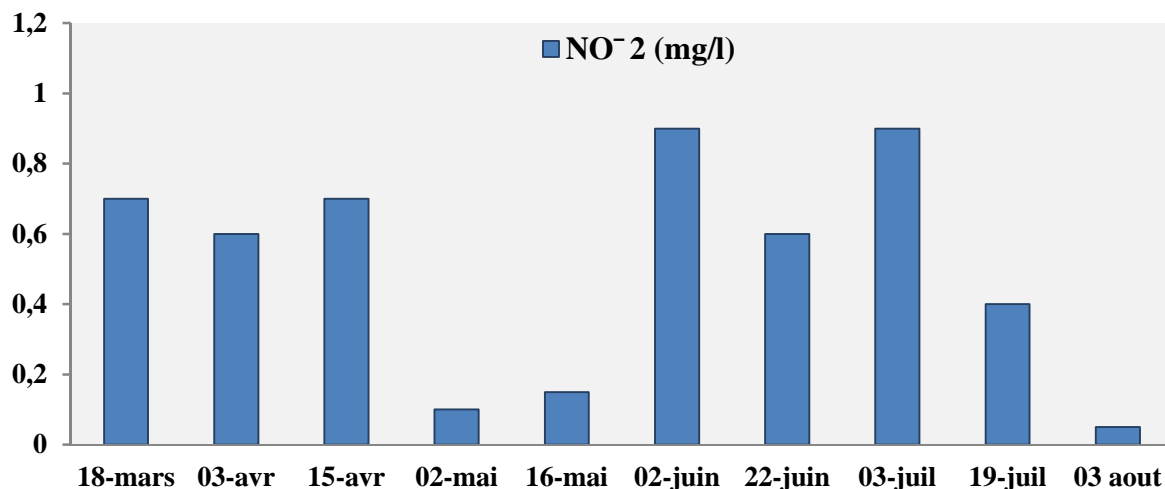


Figure 23: Évolution temporelle des nitrites au niveau des eaux usées traitées.

L'évolution des nitrites au niveau des EUT est présentée dans la figure (23). Nous remarquons que les teneurs en nitrite varient de 0,05 à 0,9 mg/l et la moyenne enregistrée sur toute la période d'étude est de 0,51 mg/l.

- Les nitrates

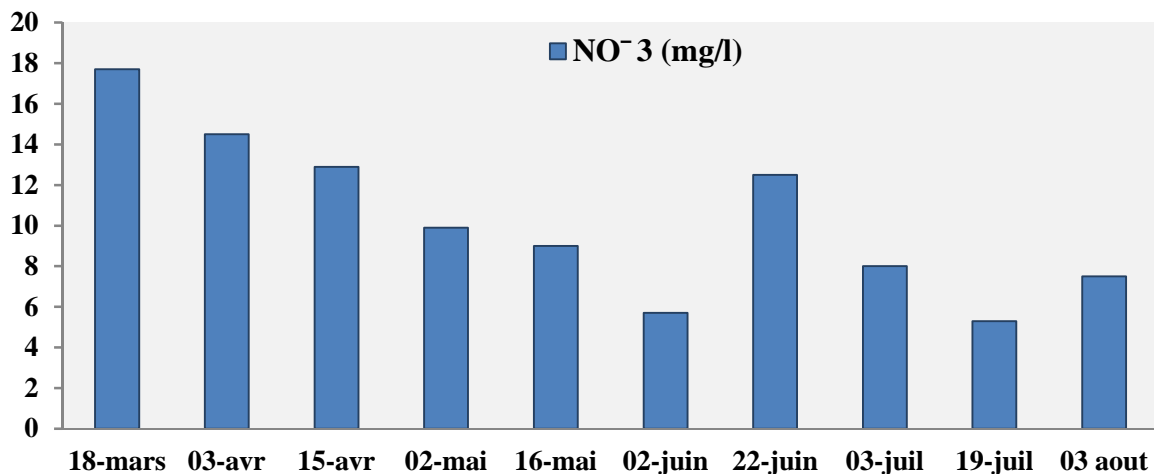


Figure 24: Évolution temporelle des taux des nitrates au niveau des eaux usées traitées.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les teneurs en nitrates dans les EUT sont représentées sur la figure (24). Elles varient de 5,3 mg/l à 17,7 mg/l. La valeur moyenne enregistrée est de 10,3 mg/l.

6.2 Résultats des analyses microbiologiques

- Les coliformes totaux

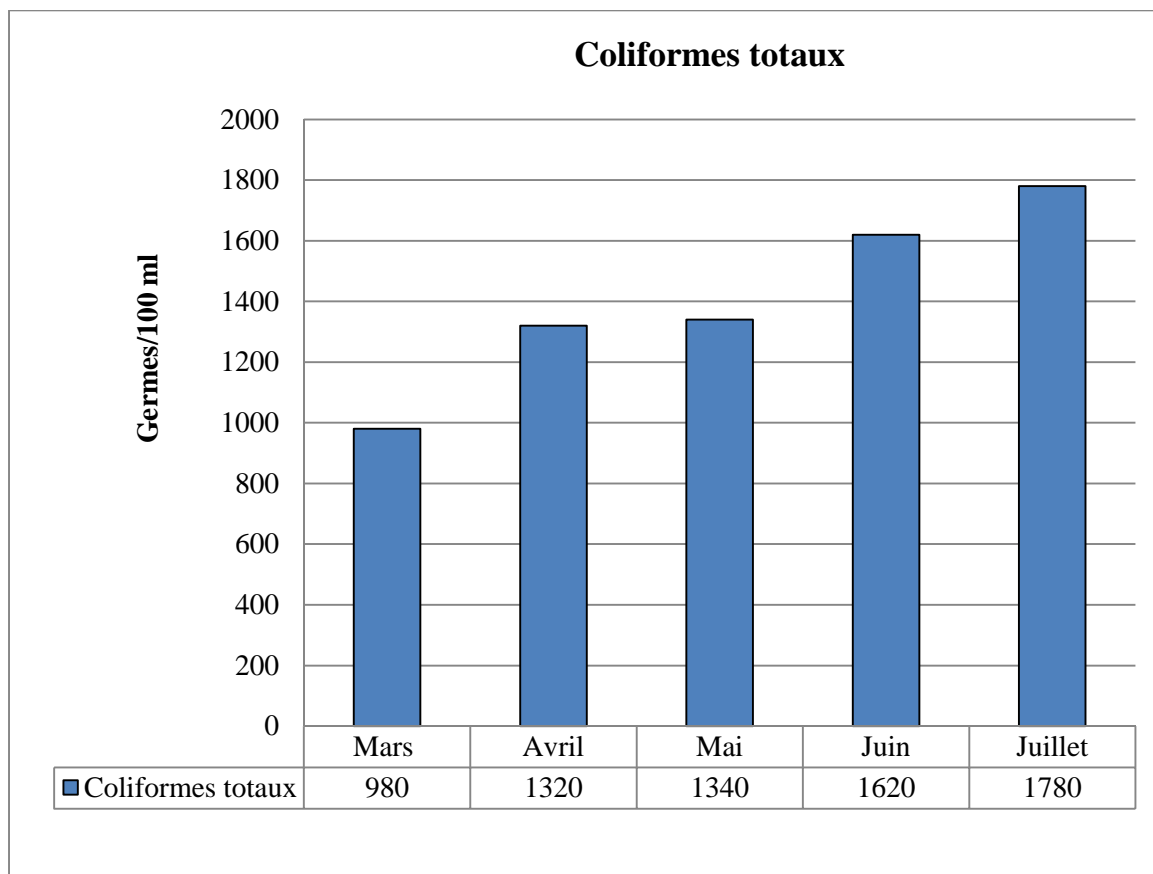


Figure 25: Évolution temporelle des coliformes totaux dans les EUT.

La figure (25) illustre l'évolution temporelle des coliformes totaux dans les EUT. Le dénombrement de ces germes fluctue entre 920 CT/100 ml et 1780 CT/100 ml avec une moyenne de 1408 CT/100 ml. La répartition des coliformes totaux montre une diminution du nombre de germes au mois de mars et une augmentation aux mois de juin et juillet.

- Les coliformes fécaux

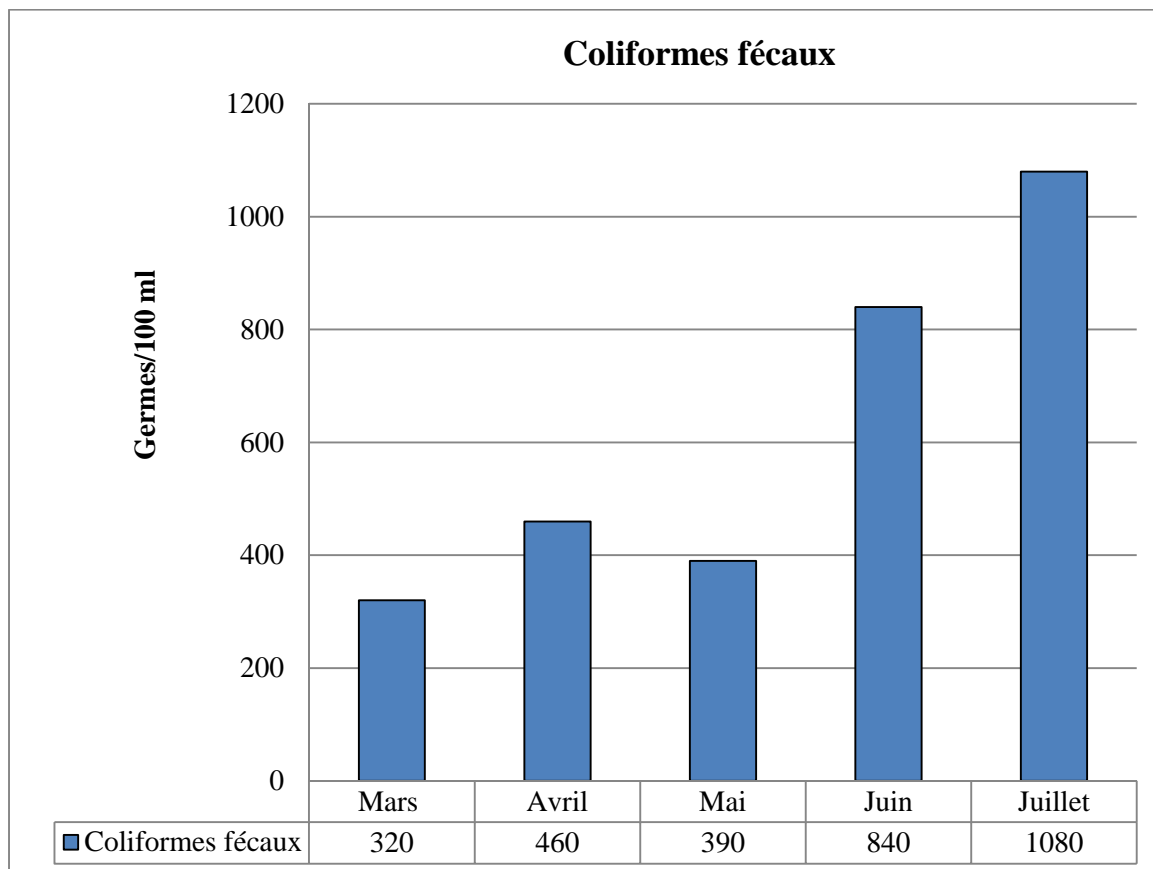


Figure 26: Évolution temporelle des coliformes fécaux dans les EUT.

La figure (26) représente l'évolution de coliformes fécaux dans les eaux usées traitées. L'analyse bactériologique montre que les effluents de la STEP sont caractérisés par un nombre en coliformes fécaux oscillant entre 320 CF/100 ml et 1080 CF/100 ml avec une moyenne de 618 CF/100 ml. Nous constatons que la valeur maximale est enregistrée au mois de juillet (période sèche) et la valeur minimale au mois de mars.

- La flore mésophile

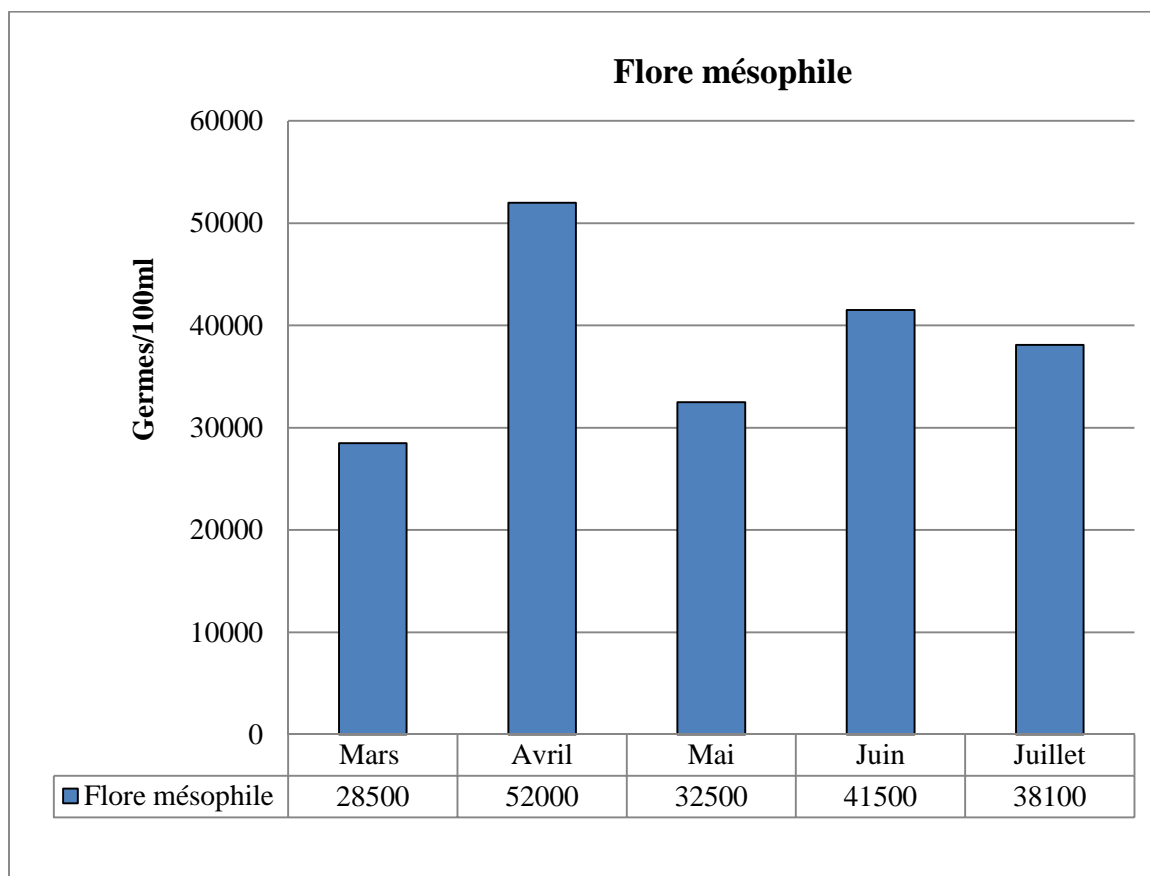


Figure 27: Évolution temporelle de la flore mésophile des eaux.

L'évolution temporelle de la flore mésophile au niveau des eaux usées traitées par la STEP de Guelma est représentée dans la figure (27). Les résultats obtenus montrent un nombre compris entre 28500 FM /100 ml et 52000 FM/100 ml avec une moyenne de 38520 FM/100 ml et la valeur maximale est observée au mois d'avril.

- Les streptocoques

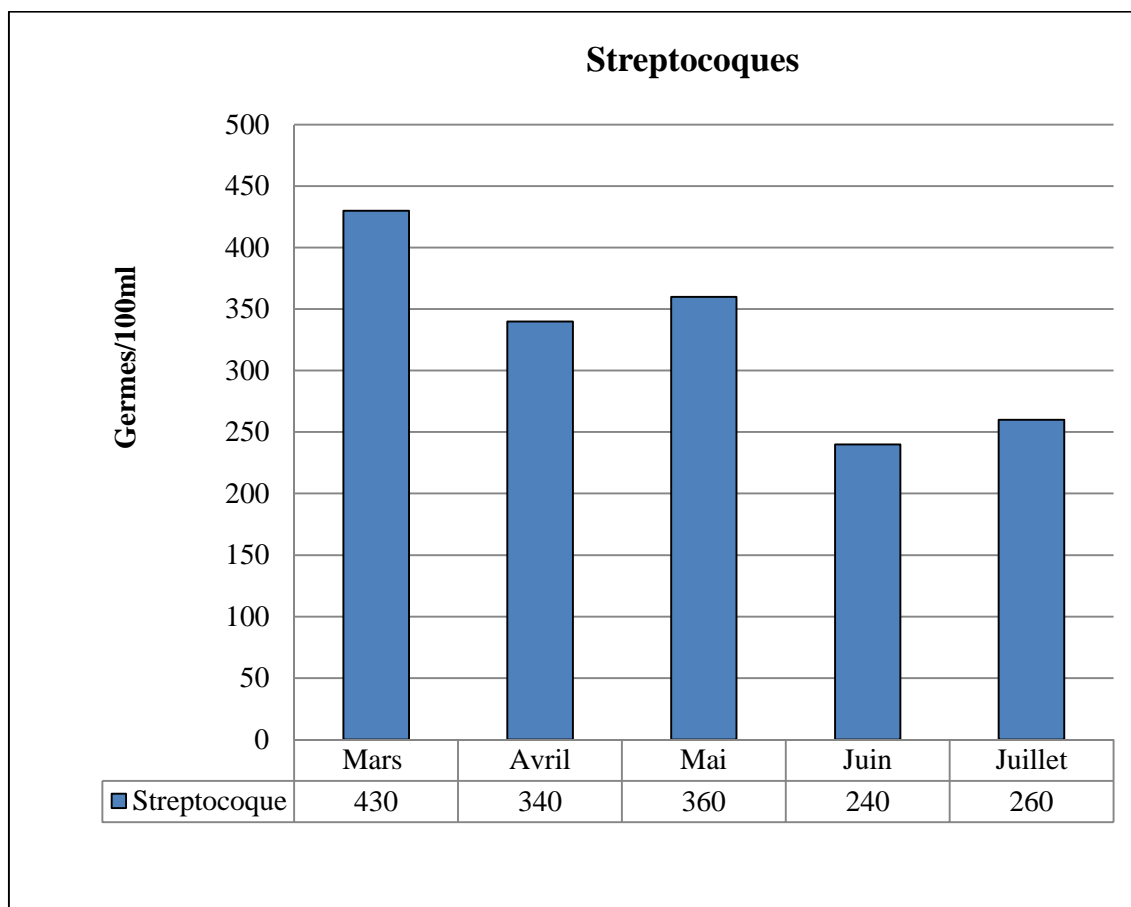


Figure 28: Évolution temporelle des streptocoques dans les EUT.

La figure (28) montre les résultats de la recherche et le dénombrement des streptocoques dans les EUT. Les concentrations déterminées variaient entre 430 germes/100 ml et 360 germes/100 ml avec une moyenne de 276 germes/100 ml. En effet, les valeurs minimales sont enregistrées au mois juin et les valeurs maximales au mois de mars.

Tableau 22: L'évolution temporelle des salmonelles, shigelles et staphylocoques dans les eaux usées traitées,

Germes	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Norme OMS
Salmonelle	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence / 5 ml
Shigelle	Absence	Absence	Absence	Présence	Présence	Absence
Staphylocoque	Présence	Présence	Présence	Présence	Présence	Absence

Norme OMS : Directives de (OMS, 1989) concernant l'irrigation des cultures destinées à la consommation à l'état cru.

Les résultats obtenus des paramètres bactériologiques (Salmonelles, Shigelles et Staphylocoques) sont illustrés dans le tableau (22). Les tests effectués montrent l'existence des Staphylocoques sur toute la période d'expérimentation, par contre les salmonelles ne manifestent aucun cas positif. L'analyse réalisée a révélé la présence des shigelles aux mois de juin et juillet.

7. Discussions

7.1 Analyses physicochimiques

Les températures moyennes des eaux usées traitées enregistrées au niveau de la station d'épuration de Guelma sont inférieures à 30 °C, considérée comme une valeur limite des rejets directs dans le milieu récepteur et aussi une valeur limite indicative pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures (JORA, 2006).

Le pH des eaux usées épurées prélevées au niveau de la station d'épuration est relativement neutre pendant toute la période d'irrigation. Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes de la qualité des eaux usées destinées à l'irrigation (JORA, 2006) et elles se trouvent également dans l'intervalle [6,5-8,4] recommandées par la FAO

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées varient de 970 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats mettent en évidence une forte minéralisation due principalement à la charge organique (Chafai, 1996). Les valeurs observées sont situées dans la plage des valeurs admissibles recommandées par la FAO qui sont de l'ordre de 0-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par contre elles dépassent la norme algérienne pour les eaux d'irrigation qui exige une conductivité électrique inférieure à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Selon les classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation modifiées par Unite States Salinite Laboratory (USSLS, 1954), les valeurs qui dépassent 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indiquent une eau de très forte salinité convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels et sur un sol perméable bien drainé. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Les valeurs du potentiel redox obtenues dans notre expérimentation demeurent positives et varient entre 228 mV et 345 mV, ce qui indique un pouvoir oxydant important (Rejsek, 2002). Nos résultats montrent que les eaux usées épurées de la STEP de Guelma sont caractérisées par des teneurs en MES comprises entre 0,9 et 15 mg/l,

L'évolution temporelle des MES dans les eaux épurées montre deux périodes bien distinctes, une période de printemps où les charges en (MES) se situent entre 6 et 15 mg/l, et une période de l'été où les teneurs en (MES) sont inférieurs à 4 mg/l. Les teneurs en matières en suspension enregistrées sont en accord avec les normes de la FAO fixées à un maximum de 30 mg/l. Selon les normes algériennes (JORA, 2006), ces eaux peuvent être utilisées en irrigation et ne présentent pas de risque de colmatage du sol.

La DBO₅ est utilisé pour dimensionner les ouvrages d'épuration (Xanthoulis, 1993). Les valeurs des DBO₅ obtenues oscillent entre 6,25 et 23 mg O₂/l. La valeur maximale enregistrée indique que le traitement biologique effectué sur l'eau usée est acceptable selon la norme de la FAO qui exige une DBO₅ inférieure à 25 mg O₂/l.

La DCO est un indicateur de la teneur en matière organique et en sels minéraux oxydables (Bontoux, 1993). Les valeurs obtenues sont comprises entre 18,4 mg O₂/l 78,6 mg O₂/l. Elles sont inférieures aux normes fixées par la FAO pour les eaux destinées à l'irrigation et restent dans les normes fixées à 125 mg O₂/l considérée comme valeur limite de rejet direct pour les stations d'épuration.

Par ailleurs, le rapport moyen DCO/DBO₅ est de l'ordre de 3.66 ce qui signifie selon (Cardot, 1999), l'effluent possède une mauvaise biodégradabilité, Cette valeur correspond à une valeur moyenne de matière oxydable estimée à 24,95 mg/l. Les eaux usées traitées par la STEP de Guelma sont donc difficilement dégradables. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par (Servais et *al.*, 1999)

La présence des orthophosphates dans les plantes est impérative pour la photosynthèse, la floraison, la nouaison, la précocité de la production, le grossissement des fruits et la maturation des graines (Skiredje, 2005). Les valeurs moyennes des PO₄³⁻ enregistrées varient entre 0,1 mg/l et 1,35 mg/l. Leurs teneurs ne dépassent pas le seuil de 2 mg/l, norme fixée par la FAO concernant les eaux destinées à l'irrigation. La diminution des teneurs en phosphates est due à sa consommation par les bactéries au cours du processus d'épuration (Peirce, 1997).

Les résultats d'analyses d'ammoniaque dans les EUT montrent que les concentrations oscillent entre 0,4 mg/l et 4,2 mg/l. Nous constatons que ces valeurs sont légèrement supérieures à la norme des eaux d'irrigation recommandées par la FAO qui exige des teneurs <3 mg/l (FAO, 2003). Certains auteurs comme Ayers et Westcot (1985) trouvent que ces teneurs en ammoniaque sont incluses dans la gamme habituelle d'une eau destinée à l'irrigation (0-5 mg/l). L'évaluation de la qualité d'une eau est en rapport avec l'évaluation quantitative de sa charge en matière azotés. L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes (Skiredje, 2005).

Les nitrites représentent la forme la moins oxygénée et la moins stable des composés azotés. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates (Rejsek, 2002). Ils sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est rare ou en faible quantité (Bengoumi *al.*, 2004). Les teneurs en nitrite enregistrées varient de 0,05 à 0,9 mg/l. Ces valeurs sont faibles et restent inférieures aux normes fixées par la FAO (3 mg/l). Nous pouvons déduire que les EUT de la STEP de Guelma ne représentent pas un risque de pollution par les nitrites.

Les moyennes des teneurs en nitrate dans les EUT varient entre 5,3 mg/l et 17,7 mg/l. Ces faibles teneurs sont dues à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (Bengoumi et *al.*, 2004). Les valeurs trouvées restent inférieures à celles rapportées par des études similaires des eaux usées traitées de la région de Mzamza du Maroc (Hassoune 2006).

7.2 Analyses microbiologiques

Les coliformes totaux sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau, ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale (Archibald, 2000). Les valeurs enregistrées pendant notre expérimentation varient entre 920 CT/100 ml et 1780 CT/100. La présence de coliformes totaux dans l'eau traitée ou leur dépassement par rapport aux normes réglementaires n'implique pas nécessairement un risque pour la santé publique. En effet, la plupart des espèces de ce groupe se trouvent naturellement dans le sol ou la végétation (Edberg et *al* 2000).

La présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale ou provenant d'eaux enrichies en matière organique (Barthe et *al.*, 1998). L'analyse bactériologique montre que les effluents de la STEP sont caractérisés par des teneurs en coliformes fécaux oscillant entre 320 CF/100 ml et 1080 CF/100 ml, avec une moyenne de 618 CF/100 ml. Ces valeurs dépassent légèrement la concentration limite (1000 germes/100 ml) recommandée par l'OMS pour la réutilisation des EUT en irrigation (OMS, 1989).

Les streptocoques sont susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, ils sont typiques des déjections animales. Ils peuvent parfois être présents chez l'homme ou dans les végétaux (Bitton, 1999). Les résultats de la recherche et du dénombrement des streptocoques dans les EUT montrent que les concentrations déterminées varient entre 430 germes /100 ml et 360 germes/100 ml avec une moyenne de 326 germes/100 ml. Les valeurs les moins élevées sont enregistrées en juin et juillet, période de fort ensoleillement et de grandes températures. Ces valeurs demeurent faibles comparées à ceux obtenus par (Ait Hamou, 2000).

La flore mésophile aérobie totale est utilisée comme un indicateur de pollution global. Cependant le dénombrement de ces germes nous donne une idée sur la charge en microorganismes dans les eaux usées traitées, il est également utilisé comme indicateur d'efficacité de traitement biologique (Fagrouch, 2010). Les résultats montrent que les eaux usées traitées de Guelma sont caractérisées par des concentrations comprises entre 28500 FM /100 ml et 52000 FM/100 ml avec une moyenne de 38520 FM/100 ml. Ce nombre important de la flore aérobie mésophile peut indiquer la présence de germes pathogènes. (El Amiri et *al.*, 2009).

La recherche de Salmonelle a une importance particulière, sa présence dans l'environnement hydrique est signe d'une contamination fécale. Les résultats obtenus ne montrent aucun cas positif. L'élimination de ces bactéries peut être due au traitement secondaire biologique et la chloration au niveau de la STEP

La présence des staphylocoques a été constatée durant toute la période de l'expérimentation démontrant ainsi leur résistance au chlore et aux agents de désinfection (CEAEQ, 2012).

La recherche des germes pathogènes a révélé la présence des Shigelles durant les mois de juin et juillet, Ces résultats ne correspondent pas aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 1989).

Conclusion

A la lumière des résultats obtenus des analyses physicochimiques des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma, les valeurs enregistrées de certains paramètres étudiés (T°C, pH, le potentiel redox, la conductivité électrique, les matières en suspension (MES), la DBO₅, la DCO, les matières oxydables, nitrates, nitrites, les orthophosphates et l'ammonium.) sont généralement conformes aux normes internationales fixées par la FAO et l'OMS. Au terme d'évaluation du degré de pollution physico-chimique, on peut constater qu'en particulier la conductivité électrique, l'ammonium et le ratio DCO/DBO₅, dépassent les normes admissibles lorsqu'elles atteignent leurs valeurs maximales ce qui prouve l'existence d'une pollution organique. Celle-ci provient des rejets domestiques et industriels de la ville de Guelma. Elle est plus accentuée pendant les périodes de faible débit lorsque l'eau devient un facteur limitant pour toutes les activités agricoles. Une conductivité électrique et une minéralisation importantes des eaux usées traitées sont également enregistrées.

Les analyses microbiologiques des eaux effectuées au cours de l'expérimentation ont montré la présence de germes pathogènes (streptocoques, coliformes totaux et fécaux) dans les eaux de la station d'épuration de Guelma. Le nombre des coliformes fécaux dépasse légèrement la norme fixée par l'OMS et exige une attention particulière. Des staphylocoques et des shigelles sont également mis en évidence dans les eaux. Vu la capacité de ces pathogènes à survivre longtemps dans le sol et à la surface des plantes, une prise en charge sérieuse de la collecte et de l'épuration des eaux usées est nécessaire. Les eaux usées de la ville de Guelma doivent donc subir un traitement plus poussé et une désinfection incluse.

CHAPITRE II:

**Analyses physico-chimiques et microbiologiques
des eaux usées traitées**

CHAPITRE III : LA CULTURE D'OIGNON « *Allium cepa* »**Introduction**

L'oignon est une plante herbacée bisannuelle de la famille des Liliacées, elle est cultivée comme plante potagère pour ses bulbes de saveur et d'odeur forte. Elle est à la fois un légume et un condiment précieux possédant de multiples propriétés médicinales. L'intérêt de l'espèce réside à la fois dans son importance économique (quatrième rang de la production mondiale pour les légumes) et ses caractéristiques biologiques (espèce bulbeuse, photopériodique, à repos marqué, bisannuelle et allogame) (Gallais et *al.*, 1992).

En Algérie l'oignon occupe une superficie allant de 38000 à 42000 ha, avec une production totale de 980.000 à 1.001.300 tonnes/an. Cette culture maraîchère est cependant confrontée à des problèmes importants qui constituent un frein au développement du potentiel horticole du pays parmi lesquels, l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation (FAO, 2012). Les polluants apportés par les eaux usées traitées peuvent avoir des effets néfastes sur la plante si leur disponibilité dans le sol dépasse certains seuils (Baumont, 2004).

La réutilisation des EUT en agriculture peut provoquer une accumulation des micro-polluants dans les tissus végétaux qui peut endommager les organites et perturber l'homéostasie cellulaire en déclenchant les mécanismes du stress oxydatif. Pour répondre à ces dommages, divers composés qualifiés d'antioxydants sont synthétisés au niveau cellulaire. L'analyse doit être complétée par une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement de la plante dans le but de déterminer les réponses physiologiques et morphologiques d'adaptation aux conditions défavorables du milieu (Faburé, 2009).

1. Description et origine de l'oignon

1.1 Description

L'oignon est une plante à bulbes tunikés dont les feuilles successives et gorgées de réserves sont fort appréciées en art culinaire. Le bulbe est oblong ou en forme de toupie, de couleur variable en fonction de celle de ses tuniques. La tige extrêmement courte se réduit au plateau d'insertion des tuniques, chacune d'elles n'étant qu'une feuille spécialisée (Boullard, 2001). La plante est bisannuelle, la première année se caractérise par un développement et une croissance du feuillage en première partie du cycle, puis par la formation du bulbe à la base du feuillage en seconde partie du cycle. La deuxième année, après un repos végétatif du bulbe, la plante monte à graines (Fleurance, 2011).

1.2 Origine

Il semble originaire du Baloutchistan, de l'Afghanistan et de la Perse. Usité de l'époque préhistorique et cultivé chez les Chaldéens et les Égyptiens plusieurs millénaires avant notre ère. Il constituait l'un des aliments les plus estimés en Égypte et les plus regrettés chez les Israélites après l'exode. Les Grecs connaissaient l'oignon dès les temps homériques. Les Romains en consommaient de grandes quantités au moyen âge. (Fournier, 1947).

L'oignon a été domestiqué dans plusieurs localités occupant une vaste zone s'étendant de la Palestine à l'Inde. Les différentes variétés d'oignon se sont adaptées aux cours des siècles aux conditions présentées sous différentes latitudes, à des climats et des modes de cultures divers (Kane, 1997). Aujourd'hui la culture s'étend des régions tropicales jusqu'au Nord de l'Europe (De Bon et *al.*, 1991).

1.3 Position taxonomique et caractéristiques génétiques

L'oignon (*Allium cepa* L.) est une monocotylédone appartenant à la famille des Liliacées qui renferme 500 espèces et plus. Elle est la plus cultivée mais, il existe d'autres espèces telles que *Allium sativum* L. (ail), *Allium ampeloprasum* L. (poireau), *Allium schoenoprasum* L. (ciboulette), *Allium chinense* et *Allium luberosum* qui font également l'objet de cultures (Jones et Mann, 1963).

Tableau 23: Classification systématique de l'oignon (*Allium cepa*).

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Spermatophyta
Classe :	Liliopodia
Ordre :	Liliales
Famille :	Liliaceae
Genre :	<i>Allium</i> L.
Espèce :	<i>Allium cepa</i> L.

Toute population d'*Allium cepa* possède (2X =) 16 chromosomes. Certains des *cepa* voisins ont des nombre différents : Delta Giant (3X =) 24 chromosomes et Beltseville's Bunching (4X =) 32 chromosomes (Van Der Meer et *al.*, 1993).

1.4 Variétés de l'oignon

Il existe des variétés botaniques qui sont habituellement désignées par des noms Latins et qui peuvent être rangées en trois groupes :

a- Le groupe « common onion »

Les plantes de ce groupe sont produites à partir de graines, les bulbes sont larges et les inflorescences sont sans bulbilles. Ce groupe auquel appartient l'essentiel des bulbes d'oignon commercialisés comporte beaucoup de variétés horticoles ou commerciales qui possèdent des noms tirés de la langue du pays où elles ont été cultivées ou parfois portent le nom du pays (CDH, 1986).

b - Le groupe « aggregatum »

Ce groupe est caractérisé par un bulbe souterrain et de nombreux bulbes axillaires. La reproduction est exclusivement végétative. L'inflorescence est sans bulbilles avec une production ou non de graines (Kane, 1997).

c- Le groupe « proliferum »

Il se caractérise par des bulbes souterrains parfois peu développés et des inflorescences portant des bulbilles qui assurent la multiplication.

Il existe une grande diversité de ce type de variété, qui sont classées selon :

Leur précocité : (longueur du jour minimale nécessaire à la formation du bulbe ou bulbification). Les oignons dites de jours courts, si la bulbification a lieu au printemps et les oignons dites de jours longs, si la bulbification a lieu en été.

La couleur de la tunique du bulbe : il existe des oignons blancs, des oignons jaunes, des oignons roses, des oignons rouges, et tous les intermédiaires.

La forme du bulbe : elle peut être aplatie, globuleuse, oblongue ou fusiforme.

1.5 Cycle de développement

Le cycle de l'oignon comporte 10 stades de développement (Figure 29), depuis la semence jusqu'au bulbe parvenu à maturité, reconnaître chaque stade est important pour mettre en place un itinéraire technique efficace. La culture de l'oignon se caractérise par sa germination lente et sa croissance rapide, ainsi que par son système racinaire superficiel dont la préservation est essentielle. La longueur du cycle dépend de la variété et peut s'étendre de 120 à 180 jours (Rey et *al.*, 1974).

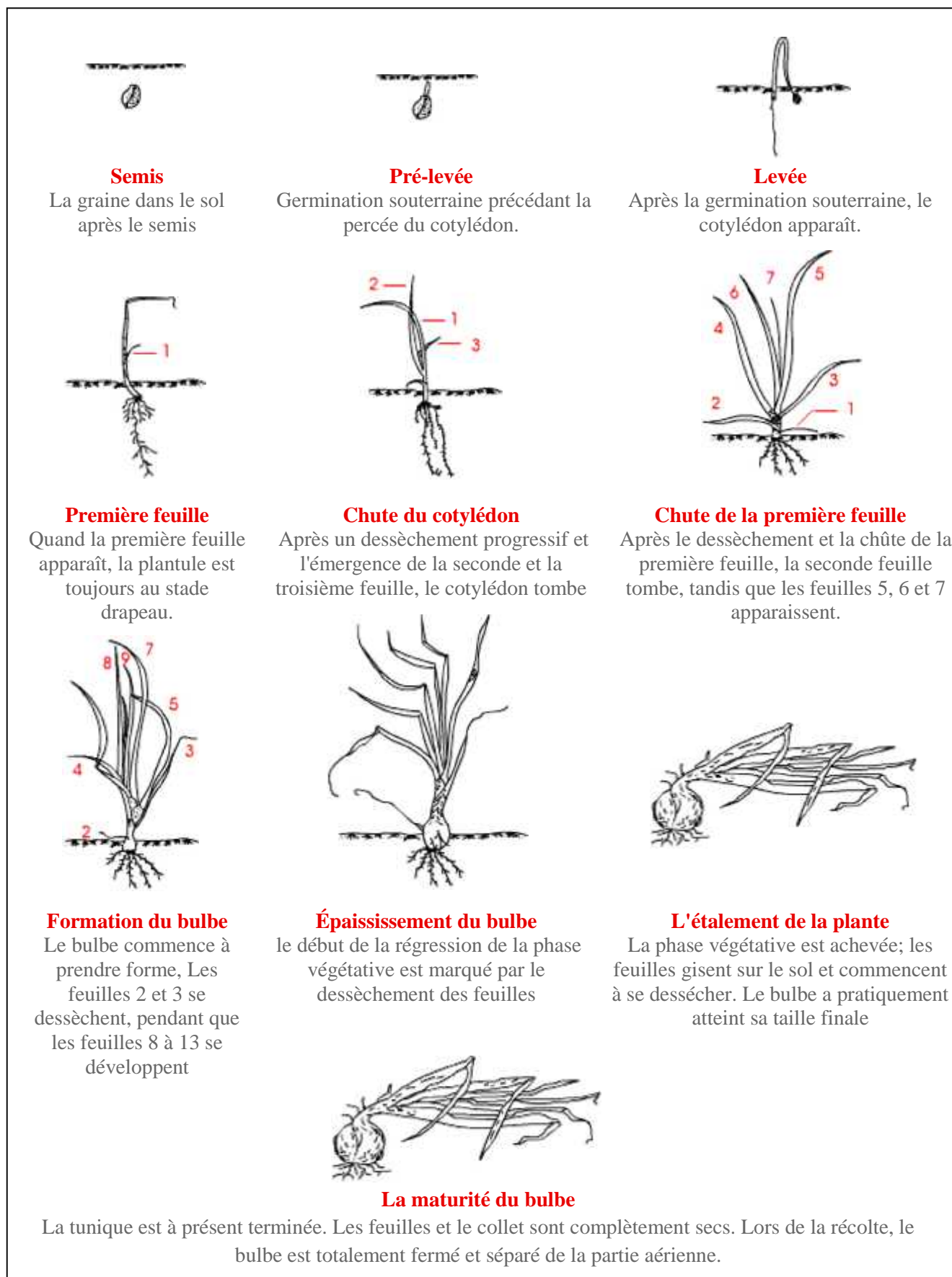


Figure 29: Le cycle de développement de l'oignon (Rey et al., 1974).

1.6 Propriétés de l'oignon

1.6.1 Principes chimiques

L'oignon contient une huile volatile qui disparaît pendant la cuisson et doit son activité à des principes sulfurés : des vitamines, une insuline végétale dite glucokinine, 10 à 11% de sucre incristallisable, saccharose pour les uns, maltose pour les autres, de la quercétine, de l'acide citrique, de phosphate de chaux, de la gomme, des sels de soude et de potasse, de l'inuline et de la cire. Dans les parois cellulaires se trouve le mannane, le mannose, la pectine, le pentosane, 0,015% d'essence composée surtout de disulfures sans sulfure d'allyle ni terpène (L. Kroeber). Les feuilles de l'oignon contiennent 0,5 à 2% de sucre, et divers enzymes : amylase, dextrinase, maltase et émulsine (Fournier, 1947).

1.6.2 Caractéristiques biochimiques

Les bulbes à tunique concentrique des divers *Allium cepa* sont plus ou moins riches en eau. Leur teneur en matière sèche varie de 7 à 15%. La composition de cette matière sèche est la suivante, d'après (Fenwick et Hanley, 1990).

Glucides : 70 à 85%

- Les composants des parois cellulaires : celluloses et pectines, se trouvent en proportion importante chez les bulbes riches en eau. Leur part est estimée de 10 à 15% de la matière sèche chez l'oignon.
- Les glucides de réserve.
- Les hétérosides.

Parmi les composés appartenant à cette catégorie, sont mentionnées les substances colorées présentes dans les tuniques externes des bulbes qui sont :

- **Les flavonoïdes** : (quercétine, kampferol) qui colorent en jaune et en brun les oignons
- **Les anthocyanes** : colorent en rouge les oignons.
- **Les saponosides** : ou saponines sont des hétérosides associés à un noyau stéroïdique chez l'oignon (Lutomsky, 1983).

Protides : 10 à 20%

Les protéines de structure et les protéines-enzymes sont présentes dans les cellules des bulbes.

Lipides : moins de 1%

Leur teneur est faible dans les bulbes. En plus des triglycérides et des phospholipides, il existe des stérols (Stoianova et *al.*, 1980).

Cendres : 1 à 3% (Messiaen, 1993).

1.7 Utilisation de l'oignon

Le produit récolté à maturité est un bulbe, c'est-à-dire une plante entière dont la base des feuilles s'enfle en écailles épaisses et charnues (réserve d'eau et de glucides). Ce bulbe a un goût prononcé, utilisé comme condiment. L'oignon est consommé frais, sec ou transformé. Entre 5 et 10% de la production sont destinés à la transformation pour diverses utilisations : déshydratation, surgélation, salaison, fabrication de plats cuisinés et conservation dans le vinaigre (Doré et Varoquaux, 2006).

L'oignon est une plante médicinale, il est un aliment parfaitement sain pour l'estomac qui le digère facilement. Les oignons crus hachés ont des propriétés antibiotiques, et peuvent réduire la contamination par les bactéries, les protozoaires ou les vers intestinaux. En médecine traditionnelle les oignons sont utilisés en externe pour traiter les furoncles, les blessures et les piqûres d'insectes, et en interne pour soulager la toux, la bronchite, l'asthme, les infections gastro-intestinales et la migraine (Grubben, 2004). C'est un diurétique agissant en grande partie grâce aux oxydases éliminés par la chaleur. Une cure d'oignons peut guérir l'hydropisie, l'œdème, l'ascite et les rhumatismes. Le suc d'oignon procure l'élimination de la gravelle et des petits graviers du rein. Des recherches récentes ont démontré l'existence dans l'oignon d'une glucokinine ou insuline végétale hypoglycémiante. (Fournier, 1947).

1.8 Importance économique

L'oignon occupe le quatrième rang mondial des légumes les plus consommés après la tomate, le chou et la pastèque (Silué et *al.*, 2003). Les statistiques de la FAO indiquent une production annuelle mondiale de bulbes secs d'oignon dépassant les 64 millions de tonnes en 2011 pour 3,45 millions ha.

La Chine est le plus grand pays producteur avec plus de 24 millions de tonnes, l'Inde produit 15 millions de tonnes, et les États-Unis plus de 3 millions de tonnes. L'Iran, l'Égypte, la Turquie, le Pakistan, la Russie et l'Espagne sont classés ensuite avec plus de 2 millions de tonnes chacun. Certains pays qui produisent plus de 500 000 tonnes pour une population relativement peu nombreuse sont d'importants exportateurs, comme les Pays-Bas. Le Mexique produit plus de 1 million de tonnes (FAO, 2012).

La plupart des pays d'Afrique tropicale importent des oignons en bulbes, soit à partir du Niger qui exporte 200 000 tonnes, soit en provenance d'Europe ou d'Afrique du sud (Grubben, 2004).

Tableau 24: Production mondiale de l'oignon en 2011.

	Chine	Inde	États-Unis	Iran	Égypte	Turquie	Russie
Production (T)	24763445	15929600	3353120	2496700	2304210	2141370	2122740
Production (million \$)	5201	3345	704	524	483	449	445

Source : www.faostat.fao.org

En Algérie, la culture de l'oignon est connue depuis des siècles. Elle occupe le cinquième rang des produits agricoles les plus cultivés. De 1998 à 2002, la production a atteint une moyenne d'environ 400.000 tonnes, soit quatre fois plus qu'en 1975 où la production était aux alentours de 101.300 tonnes d'oignon sec par an. En 2010 elle a franchit le cap de 1 million de tonnes, et un commerce près de 206 millions de dollars (FAO, 2012).

2. Matériel et méthodes

Les expériences sont effectuées sur une variété d'oignon « *Allium cepa* » dont les techniques de cultures sont les suivantes :

2.1 Technique de culture

2.1.1 Préparation du sol

Le sol utilisé est un terreau prélevé à partir d'une terre agricole il a subi :

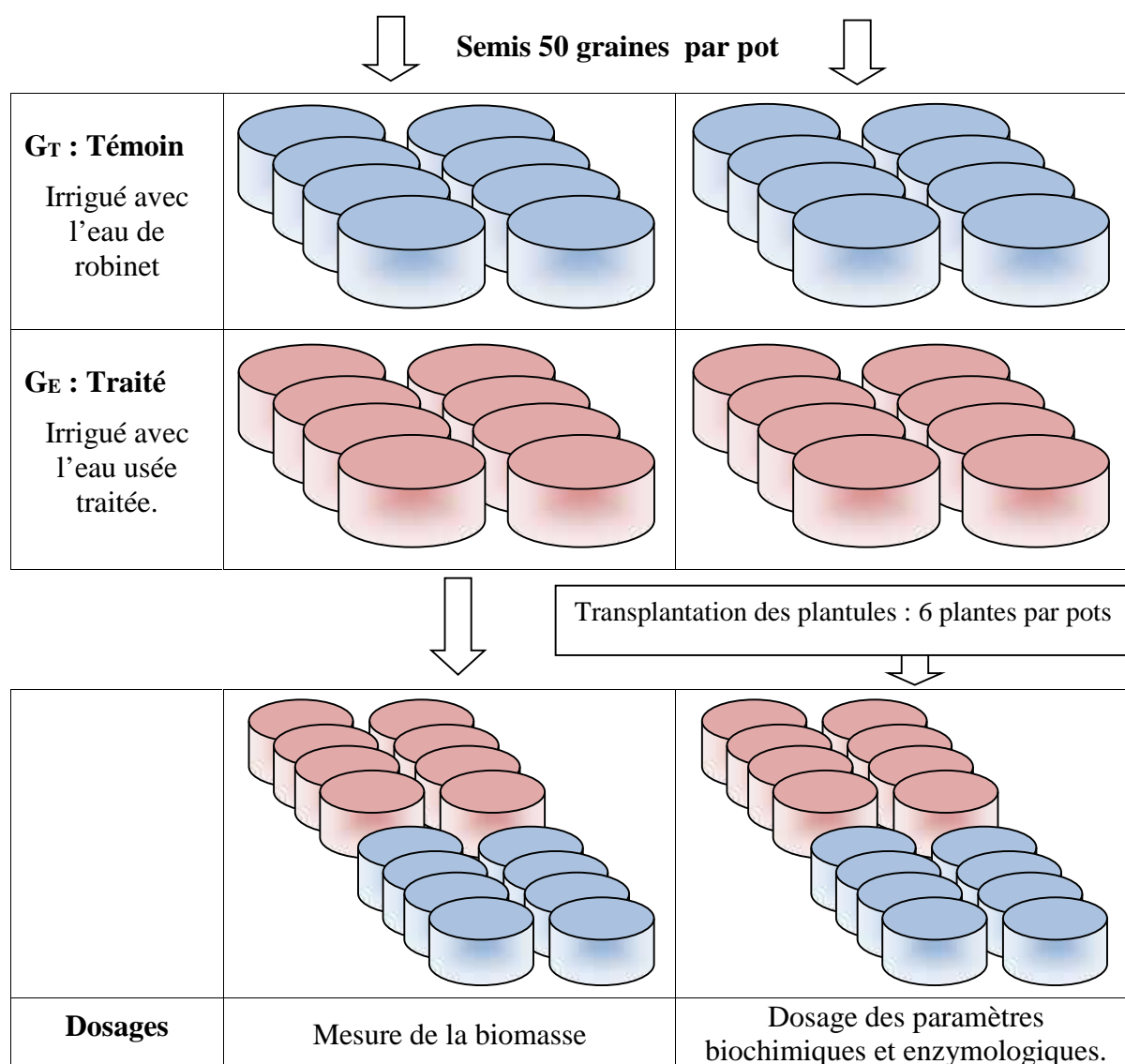
- Un tamisage approprié afin de supprimer les différents débris et déchets.
- Un séchage à une température ambiante durant une semaine.
- Un passage dans un tamis de 2 mm de diamètre.

Les pots en plastiques utilisés ont un diamètre de 25 cm et une hauteur de 22 cm pour assurer la profondeur d'enracinement recommandée par la (FAO, 2003. Dans lesquels on dépose une couche de gravier de 5 cm afin d'assurer le drainage, puis remplis avec un mélange composé de 1/3 de sable et 2/3 de terreau précédemment préparé. Un arrosage avec l'eau est effectuée 24 heures avant le semis afin d'obtenir une humidité homogène dans tous les pots (capacité au champ).

2.1.2 Germination et semis

Au niveau du laboratoire, nous avons utilisé les graines dépourvues de leur bractée afin de faciliter la germination. Elles ont été sélectionnées selon leur morphologie, leur taille, leur couleur (noire) et leur aspect sanitaire (absence de contamination). Puis elles ont été trempées dans l'hypochlorite de sodium à 8% pendant trois minutes (élimination éventuelle des champignons) et rincées plusieurs fois à l'eau distillée.

Les graines sont ensuite semées dans les pots pour la production de plantules (16 pots par traitement). L'essai de croissance a été réalisé en conditions semi contrôlées dans une chambre de culture sous un éclairage de 10 heures où la température est de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

**Figure 31** : Le dispositif expérimental.

2.1.3 Repiquage et irrigation

Au bout de trois mois et après l'apparition des premières feuilles, les plantules sont repiquées soigneusement à raison de six plantules par pot puis déposés sous serre. L'arrosage s'effectue une fois tous les trois jours et le mode d'irrigation a été établi en deux groupes:

- Le groupe témoin (GT) : irrigué par l'eau du robinet.
- Le groupe traité (GE) : irrigué par l'eau usée épurée.

Tableau 25 : Volumes des eaux d'irrigation utilisés.

Age de plante	1-2 mois	3-4 mois	5-6 mois
Quantité d'eau par pot	100 ml	150 ml	200 ml



Photo 2: Préparation des pots avant le semis.



Photo 3: Des plantes d'*Allium cepa* au stade tallage



Photo 4: Des plantes d'*Allium cepa* au stade chute de cotylédons



Photo 5a: Prélèvement des plantes au stade chute de cotylédons (CC).



Photo 5b: Prélèvement des plantes au stade 5 Feuilles (5F).



Photo 5c: Prélèvement des plantes au stade formation de bulbes (FB).

Photo 5: Prélèvement des échantillons.

2.2 Paramètres physiologiques

2.2.1 La germination

Les grains sont arrosés un jour sur deux avec de l'eau du robinet (groupe témoin) et avec l'eau usée traitée (groupe traité) dans des chambres d'incubation à l'obscurité et à 25°C pendant 34 jours.

La vitesse de germination

Le pourcentage de germination est relevé toutes les 48 heures afin d'établir une courbe de germination en fonction du temps pour les plantes témoins et traitées. Le caractère de la vitesse de germination est déterminé par le T50 (temps nécessaire à la germination de 50% des grains). Le T50 est évalué en utilisant l'équation : $(y = ax + b)$ issue des courbes de germination. La vitesse de germination (T50) est mesurée en jour (Anzala, 2006).

Le temps moyen de germination

Le temps moyen de germination est calculé par la formule donnée selon (Maziliak, 1982) :

$$\text{TMG} = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_nT_n}{N}$$

TMG : Temps Moyen de Germination.

N₁ : Nombre de graine germant au temps T₁.

N : Nombre total des semences ayant germé en fin de l'essai.

Le taux de germination

Calculé selon (Maziliak, 1982)

$$\text{TG\%} = \frac{\text{Nombre de semences germés}}{\text{Nombre total des semences}}$$

TG% : Taux de germination.

2.2.2 La biomasse

Pour apprécier le développement végétatif, un prélèvement aléatoire de 6 plantes par pot a été effectué chaque mois. Les feuilles (la biomasse foliaire) des différents plants prélevés sont coupées à leur base et pesées à l'aide d'une balance de précision. Pour chaque échantillon, la partie souterraine des différentes plantes est également pesée séparément pour suivre leur évolution en fonction du type d'eau utilisée pour l'irrigation.

2.2.3 Dosage des chlorophylles

Il a été effectué selon la méthode de Mac Kinney (Arnon, 1949) qui consiste à l'extraction de 1g du végétal dans un mortier avec 25 ml d'acétone à 80%, filtré avec un papier wattman puis mis dans une cuve en verre. La lecture des densités optiques est réalisée au spectrophotomètre à deux longueurs d'onde $\lambda_1=663$ nm et $\lambda_2= 645$ nm après étalonnage de l'appareil.

Les teneurs en chlorophylles (a), (b) et (a+b) et sont données à partir de ces formules et exprimées en $\mu\text{g/g}$ MF.

$$\text{chl(a)} = 12,7D_{663} - 2,69D_{645} \quad (\text{Hixot et Israel Stam, 1978}).$$

$$\text{chl(b)} = 22,5D_{645} - 4,68D_{663}$$

$$\text{chl(a+b)} = 8,02D_{663} + 20,20D_{645} \quad (\text{Brown et White, 1986})$$

Do: densité optique

2.3 Paramètres biochimiques

2.3.1 Dosage des protéines totales

La méthode utilisée est celle de Bradford (1976) qui utilise le BSA (Bovine Sérum Albumine). On prend 100 mg d'échantillon dans un mortier, auxquels on ajoute 5 ml d'eau distillée. Après filtration, on met la solution dans un tube à essais avec 5 ml d'eau distillée.

Préparation du réactif de Bradford :

On mélange 100 mg de BBC (Bleu brillant de Coomassie) à 50 ml d'éthanol à 95%. On agite pendant 2 heures. On ajoute 100 ml d'acide orthophosphorique à 85%, puis de l'eau distillée pour arriver à 1000 ml. Le tout est conservé dans un flacon sombre au réfrigérateur. On prend 0,2 ml du réactif que l'on ajoute à 0,2 ml de la solution à analyser et 1,6 ml d'eau distillée. Le tout est agité au Vortex.

L'étalonnage de l'appareil s'effectue en prenant 0,2 ml du réactif + 1,8 ml d'eau distillée. Après 5 min à 1 heure de temps, on mesure la densité optique (DO) à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm.

La quantité de protéines totales est déterminée à partir de l'équation :

$$Y = 0,011X - 0,005$$

X : est la quantité de protéines totales en $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF.

Y : est la densité optique.

2.3.2 Dosage de la proline

La proline est quantifiée selon la technique de (Troll et Lindsley, 1955) simplifiée et mise au point par (Dreier, 1973) et modifiée par (Monneveux et Nemmar, 1986).

Trois prélèvements de 100 mg de matière fraîche sont effectués, par pots et par traitement. Ces échantillons sont placés dans des tubes à essai, auxquels on ajoute 2 ml de méthanol à 40%. On chauffe au bain marie à 85°C pendant 60 mn et pour éviter la volatilisation de l'alcool, les tubes sont couverts de papier aluminium pendant le chauffage.

Après refroidissement, on prélève 1ml de l'extrait auquel on ajoute 1 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 de densité 1,7) et de la ninhydrine (25 mg/échantillon). Le mélange est porté à ébullition durant 30 mn. La solution vire au rouge. Le tout est refroidi, et on rajoute 5 ml de toluène par échantillon.

Deux phases se séparent après agitation, la phase supérieure qui contient la proline et la phase inférieure sans. Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute du Na_2SO_4 à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient.

On procède enfin à la détermination des densités optiques des échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre réglé sur une longueur d'onde de 528 nm. La lecture finale se fait après étalonnage.

Les quantités de proline sont calculées d'après l'équation suivante :

$$Y = 0,00368X - 0,108$$

X : est la quantité de proline en $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF.

Y : est la densité optique.

2.3.3 Dosage des sucres solubles

Le dosage des sucres solubles a été réalisé selon la méthode de (Schiels et Burnett 1960), elle est aussi dite méthode à l'anthrone en milieu sulfurique. L'extraction des sucres solubles se fait après macération du végétal dans l'éthanol (3 ml) à 80% pendant 48 h. Après chauffage au bain marie à 70°C pendant 30 mn, la solution à l'anthrone est préparée 4 h avant les dosages avec les proportions suivantes : 0,2 g d'anthrone dans 100 ml d'acide sulfurique.

Le réactif (4 ml) est ajouté à 2 ml de la solution à analyser et le tout est maintenu à 0°C dans de la glace pendant l'opération.

Après agitation, les tubes sont mis au bain marie à 90°C pendant 8 mn puis refroidis pendant 30 mn dans de la glace. L'absorbance est alors lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585 nm.

La lecture se fait d'après la courbe d'étalonnage établie avant le dosage.

$$Y = 0,0035x - 0,025$$

X : est la quantité de sucres solubles en µg/mg MF.

Y : est la densité optique.

2.4 Analyse statistique des résultats

Pour chaque dosage, trois échantillons indépendants ont été analysés (n=3) : et chaque mesure a été répétée trois fois. Les résultats ont fait l'objet du test T de Student qui sert à comparer entre deux échantillons indépendants (Témoin et traités).

Les résultats sont interprétés comme suit :

Si P = 0,05 : il existe des différences significatives *

Si P = 0,01 : il existe des différences hautement significatives **

Si P = 0,001 : il existe des différences très hautement significatives ***

L'étude des corrélations entre les différents paramètres biologiques est réalisée par le test non paramétrique de Spearman (Dagnelie, 1999).

3. Résultats

- Effet des eaux usées traitées sur la germination

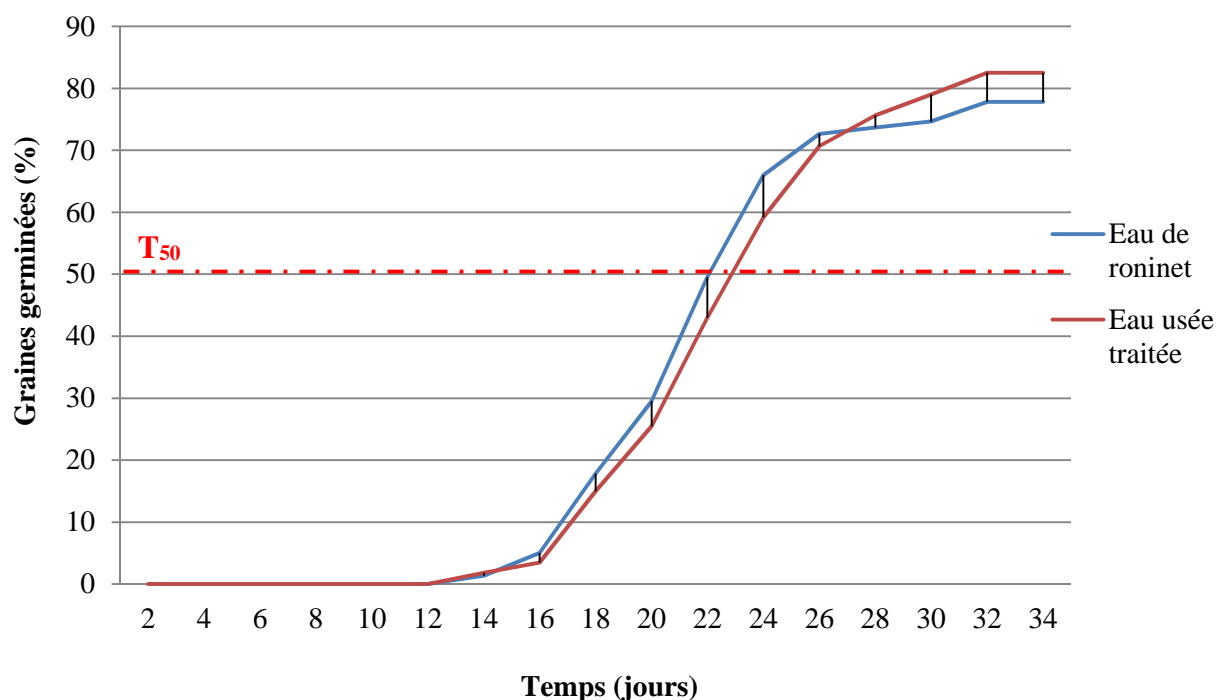


Figure 32: Effet des eaux usées traitées sur le taux et la vitesse de germination.

La figure (32) et le tableau (26) représentent l'effet des eaux usées traitées sur le taux et la vitesse de germination. L'observation des courbes montre que le traitement par les EUT provoque un allongement de la période germinative allant de quelques heures jusqu'à une journée et demi. Concernant le taux de germination, les plantes traitées par les EUT présentent un effet positif sur le pouvoir germinatif des grains de l'oignon. L'augmentation du taux de levée est environ de 5% comparativement aux témoins.

Tableau 26: Effet des eaux usées traitées sur le taux, le temps moyen et la vitesse de la germination.

Paramètres	Témoins	Traitées
TE : Taux de levée (%).	77,83	82,50
T50 : Vitesse de germination (jours).	22,58	23,64
TMG : Le temps moyen de germination (jours).	23,36	22,86

- Effet des eaux usées traitées sur la biomasse

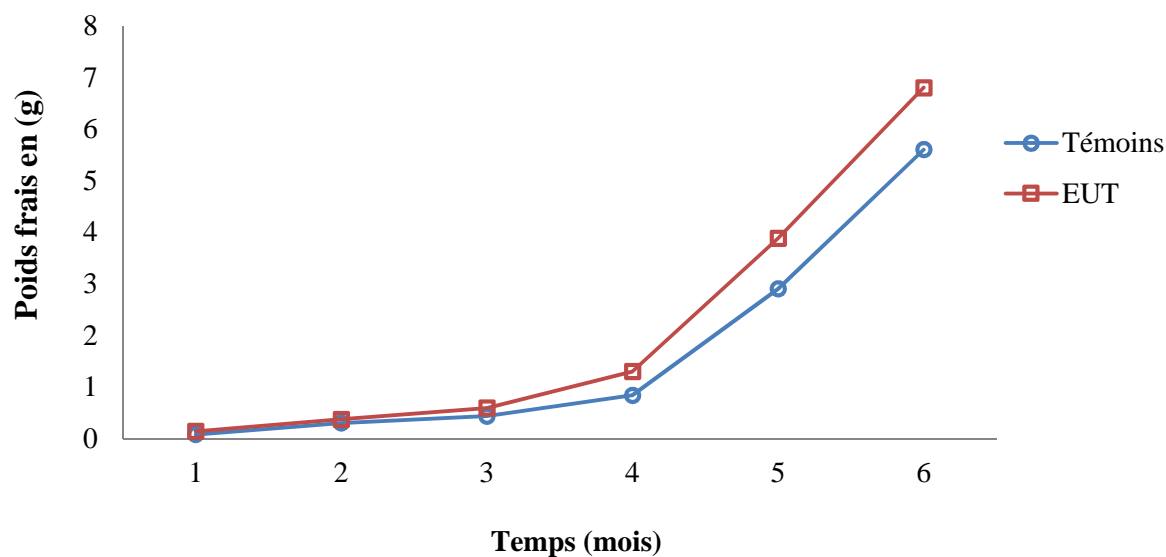


Figure 33: Effet des eaux usées traitées sur la biomasse de la partie souterraine.

Les résultats de la figure (33) montrent que le traitement par les eaux usées épurées ne semble pas modifier de façon importante la biomasse de la partie souterraine pendant les trois premiers mois. Les valeurs les plus élevées sont observées après trois mois de traitement.

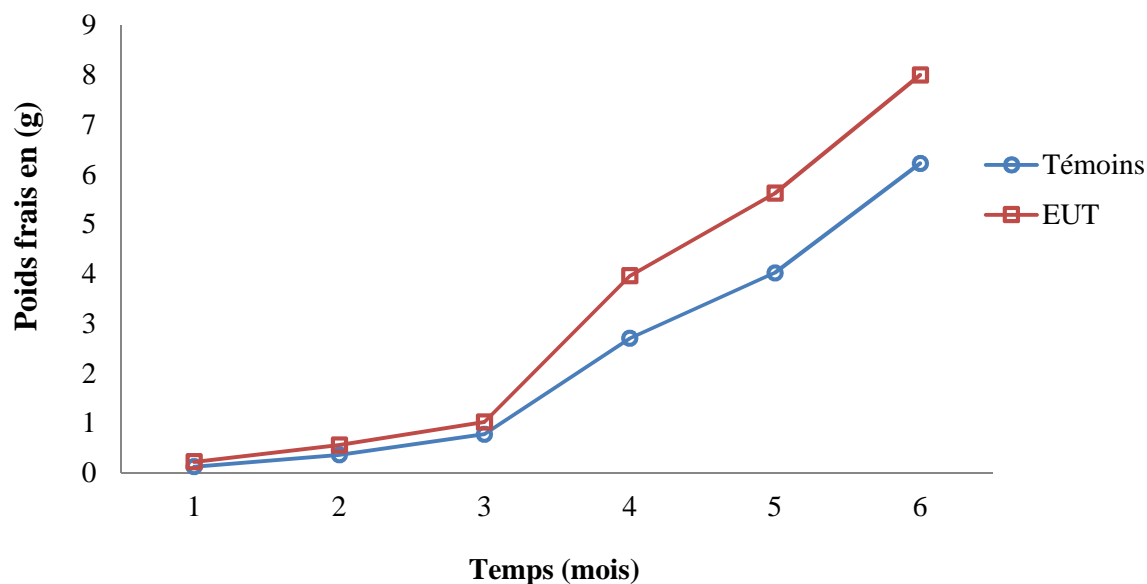


Figure 34: Effet des eaux usées traitées sur la biomasse foliaire.

La figure (34) montre que les plantes de l'oignon présentent un accroissement de la biomasse foliaire quand elles sont irriguées avec des eaux usées traitées (EUT). On enregistre une augmentation près de 24,7% remarqué après le troisième mois.

- Teneur en chlorophylles

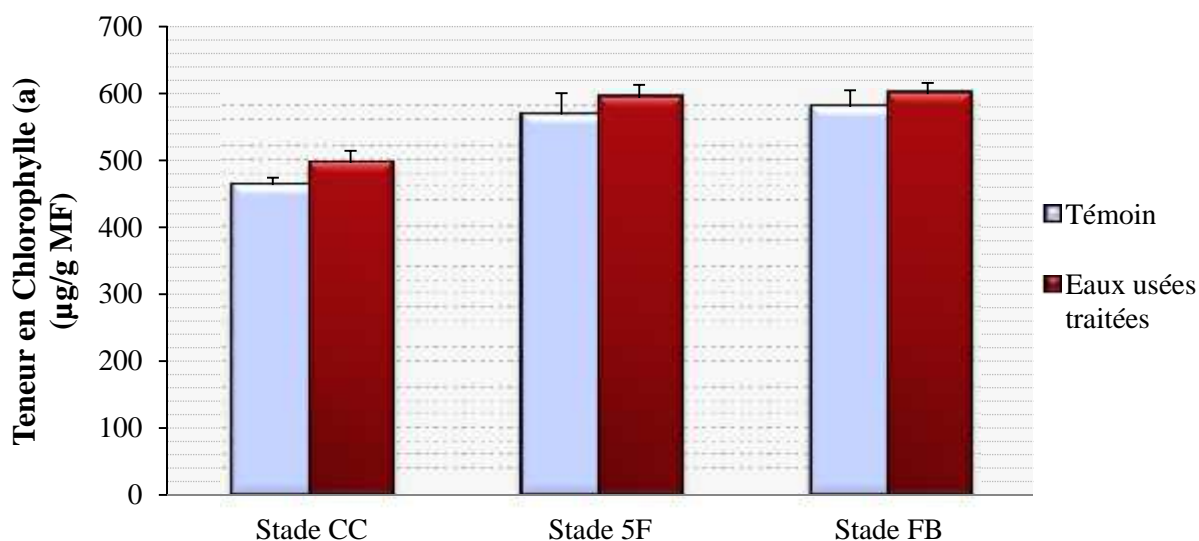


Figure 35: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (a) en (µg/g MF).

Les plantes irriguées avec les eaux usées traitées (figure 35) présentent une teneur en chlorophylles (a) légèrement supérieure à celle des plantes irriguées avec l'eau du robinet. L'irrigation par les eaux usées épurées ne semble pas avoir un impact important sur la teneur en chlorophylles (a) au niveau des feuilles de l'oignon.

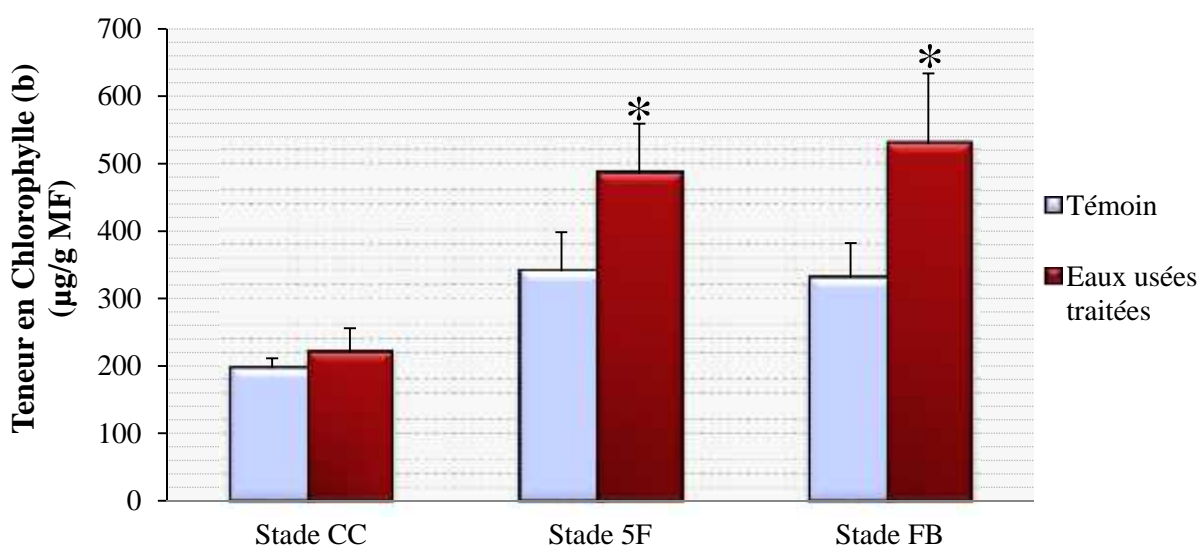


Figure 36: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (b) en (µg/g MF).

Sur la figure (36), la chlorophylle (b) affiche une teneur plus élevée chez les plantes irriguées avec les eaux usées traitées par rapport aux témoins. Cette augmentation est significative aux stades : 5-feuilles (5F) et formation de bulbe (FB).

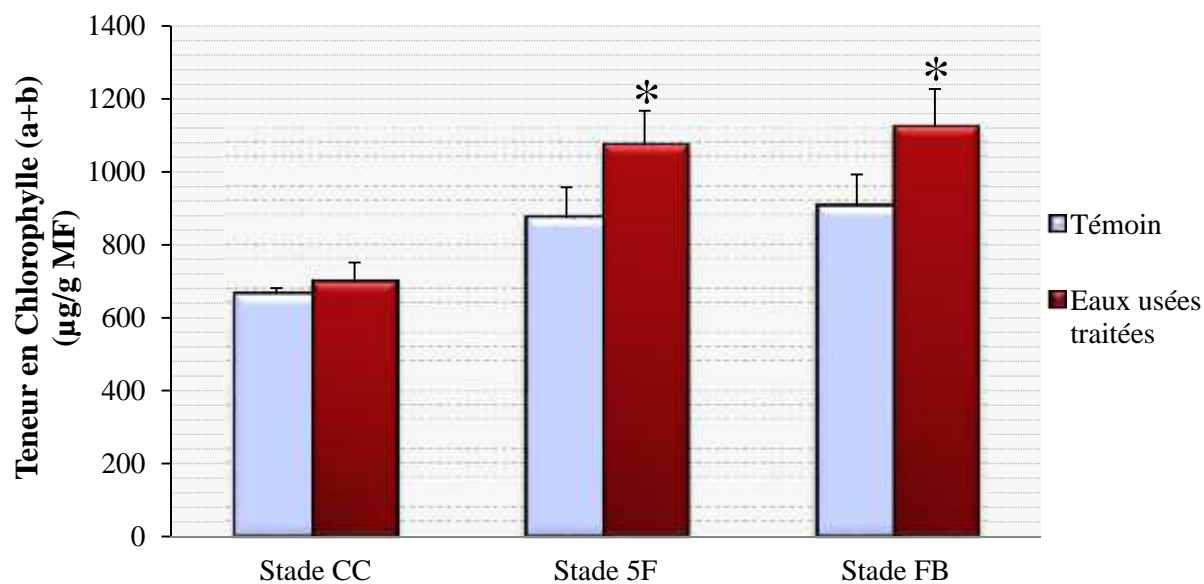


Figure 37: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (a+b) en (µg/g MF).

L'effet des eaux usées traitées sur la teneur en chlorophylles (a+b) au niveau des feuilles (figure 37) des plantes traitées est supérieur à celui des plantes témoins. Cette augmentation est significative (*) avec $p < 0,05$ aux stades (5F) et au stade (FB).

- **Protéines totales**

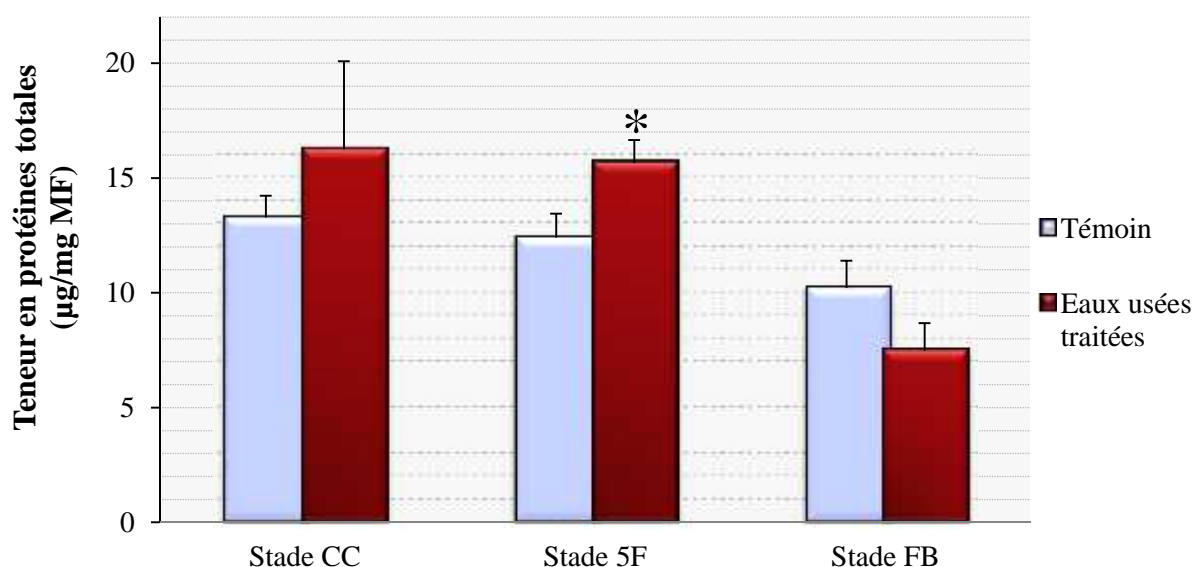


Figure 38: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en protéines totales au niveau des tiges en (µg/mg MF).

Une augmentation importante de la teneur en protéines totales est enregistrée au stade CC et au stade (5F), suivie d'une baisse de celle-ci au stade (FB) chez les plantes traitées au niveau des tiges (figure 38).

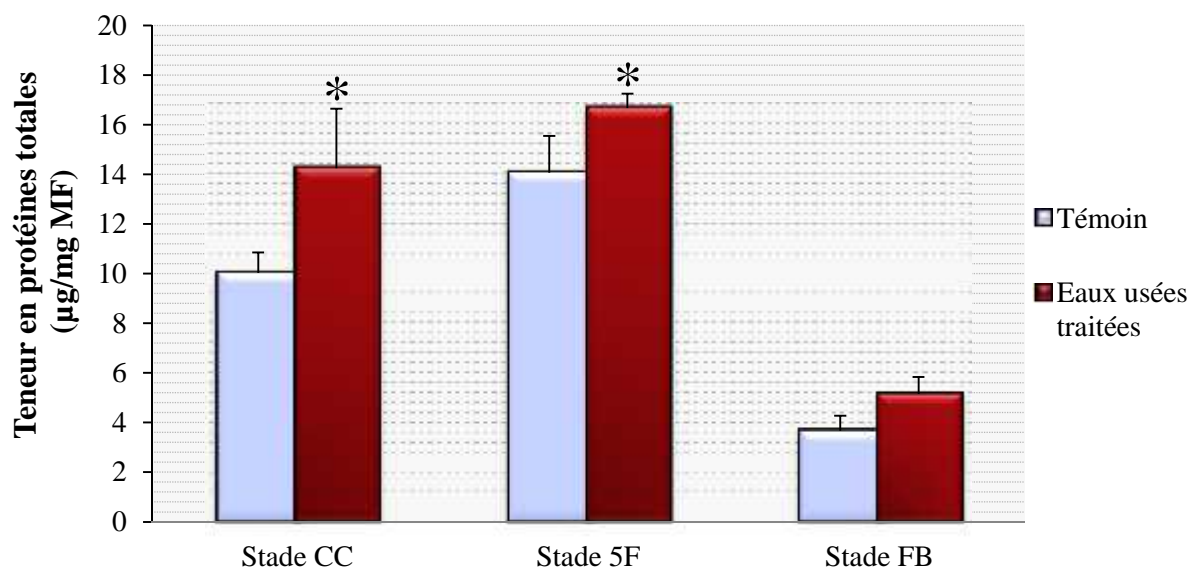


Figure 39: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en protéines totales au niveau des racines en (µg/mg MF).

Au niveau des racines (figure 39), une augmentation de la teneur en protéines totales est affichée dans les plantes irriguées par les EUT, cette augmentation est significative (*) au stade (CC) et au stade (5F).

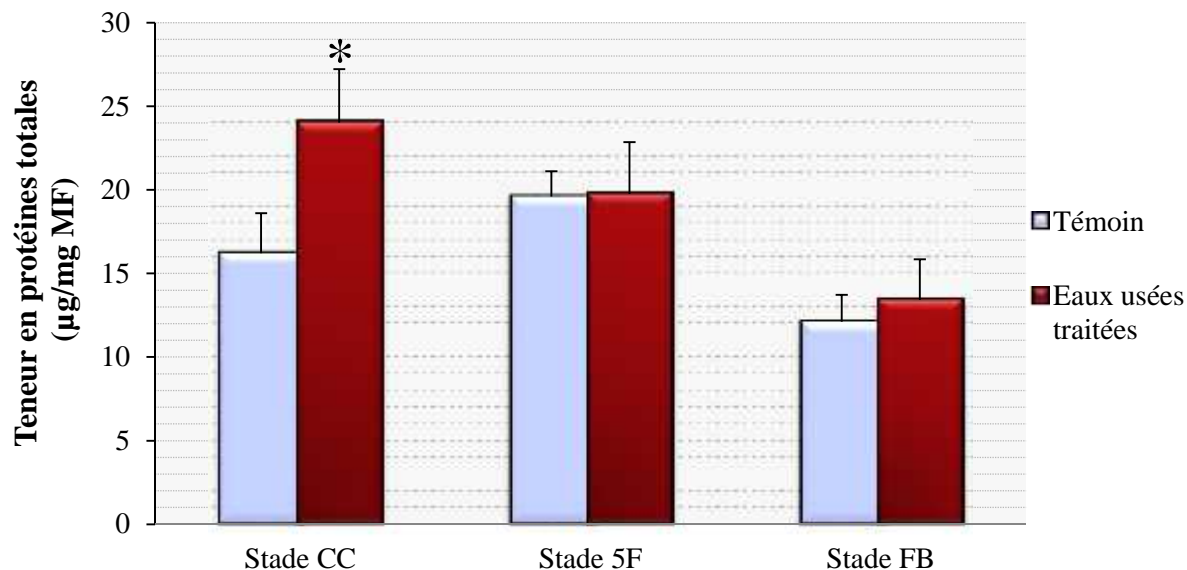


Figure 40: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en protéines totales au niveau des feuilles en (µg/mg MF).

Les résultats de la figure (40) montrent que les EUT utilisées pendant notre expérimentation provoquent une augmentation en protéines totales significative au niveau des feuilles uniquement au stade (CC) des plantes traitées.

- La proline

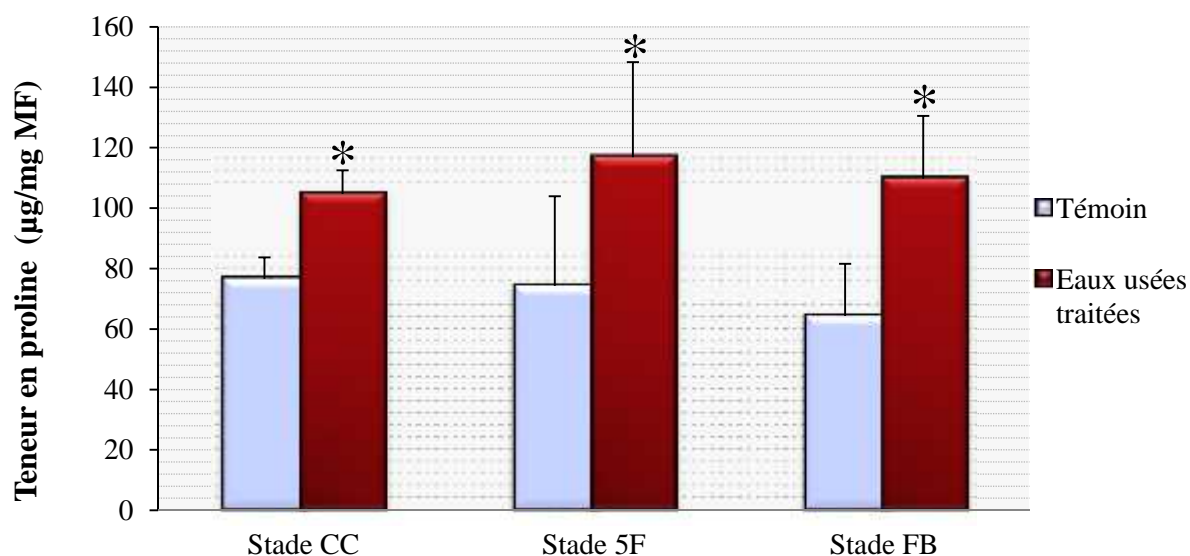


Figure 41: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en proline dans les tiges en (µg/mg MF).

Les résultats de la figure (41), illustrent l'effet des EUT sur la teneur en proline. L'irrigation semble provoquer une forte accumulation en proline au niveau des tiges des plantes traitées comparativement aux plantes témoins et aux trois stades de développement.

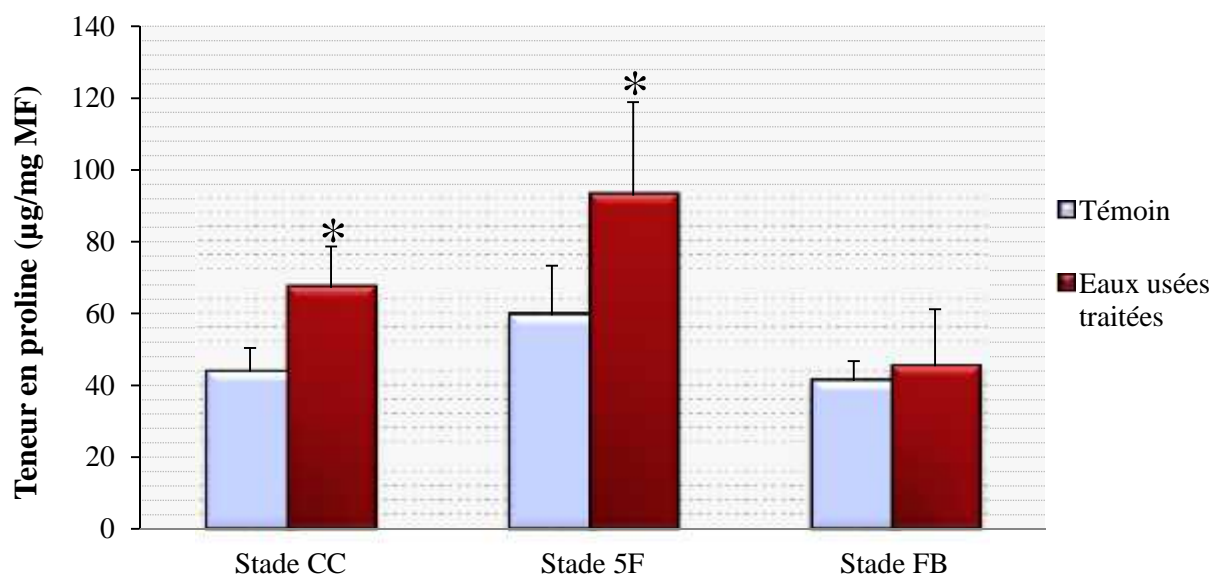


Figure 42: Effet des eaux usées traitées sur la teneur en proline au niveau des racines en (µg/g MF).

La teneur en proline (figure 42) dans les racines des plantes irriguées avec les EUT est supérieure à celle des témoins. Cette augmentation est significative (*) au stade (CC) et au stade (5F).

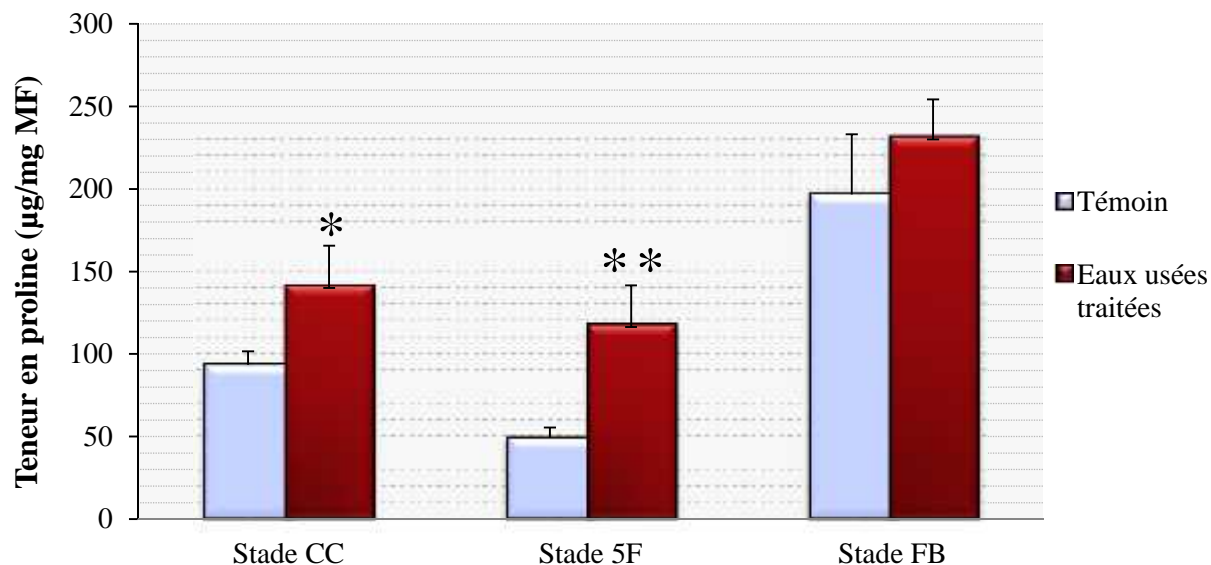


Figure 43: Effet des EUT sur la teneur en proline au niveau des feuilles en (µg/g MF).

La teneur en proline au niveau des feuilles des plantes traitées (figure 43) est importante. Une augmentation significative (*) a été enregistrée au stade (CC), et hautement significative (**) au stade (5F).

- **Sucres solubles**

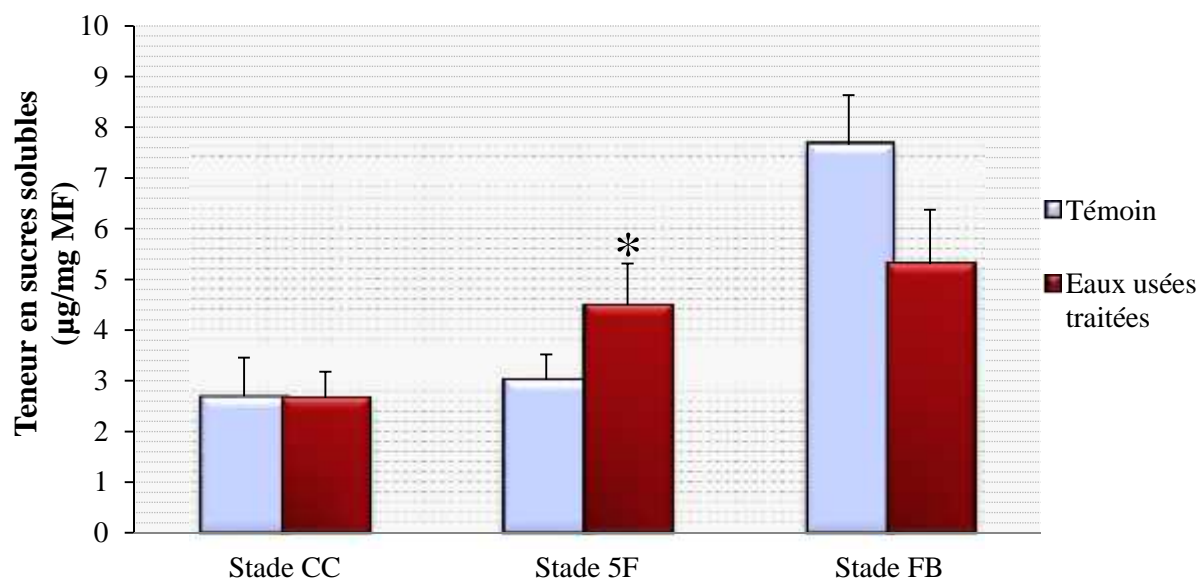


Figure 44: Effet des EUT sur la teneur en sucres solubles au niveau des tiges en (µg/mg MF).

La teneur en sucres solubles au niveau des tiges des pots irrigués avec les EUT affichent une augmentation significative au stade (5F) (figure 44). Au stade (FB), on constate une baisse de celle-ci par rapport aux plantes témoins.

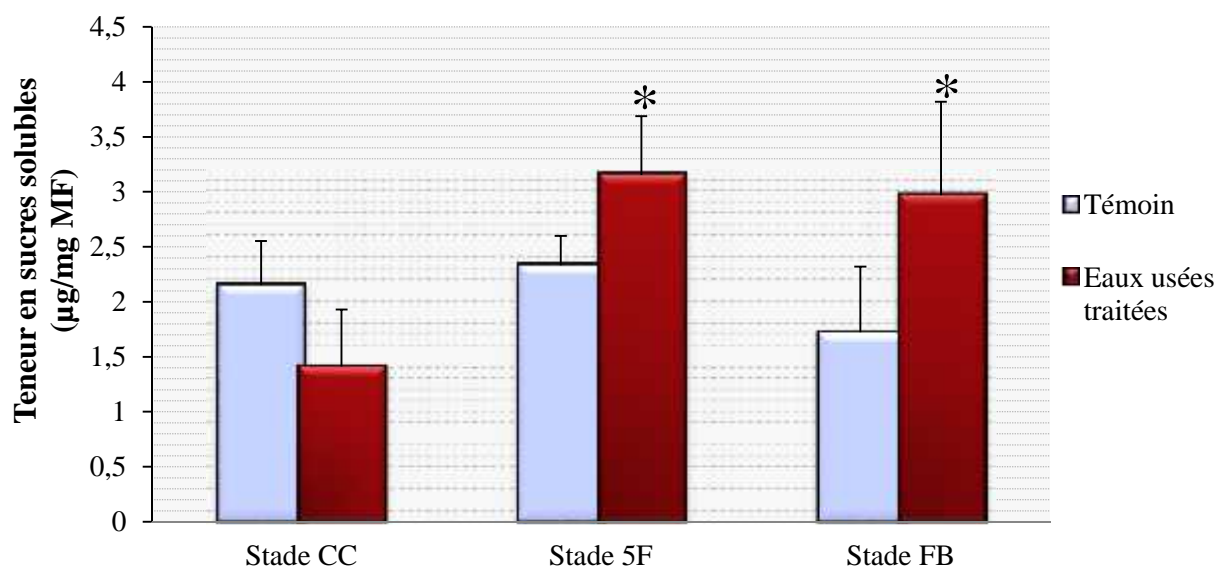


Figure 45: Effet des EUT sur la teneur en sucres solubles au niveau des racines en (µg/mg MF)

Les résultats obtenus montrent que pendant les stades (5F) et (FB), la teneur en sucres solubles dans les racines des plantes traitées est largement supérieure à celle des racines des plantes témoins. Par contre le traitement par les EUT provoque une baisse de la teneur en sucres solubles au stade CC par rapport aux témoins (figure 45).

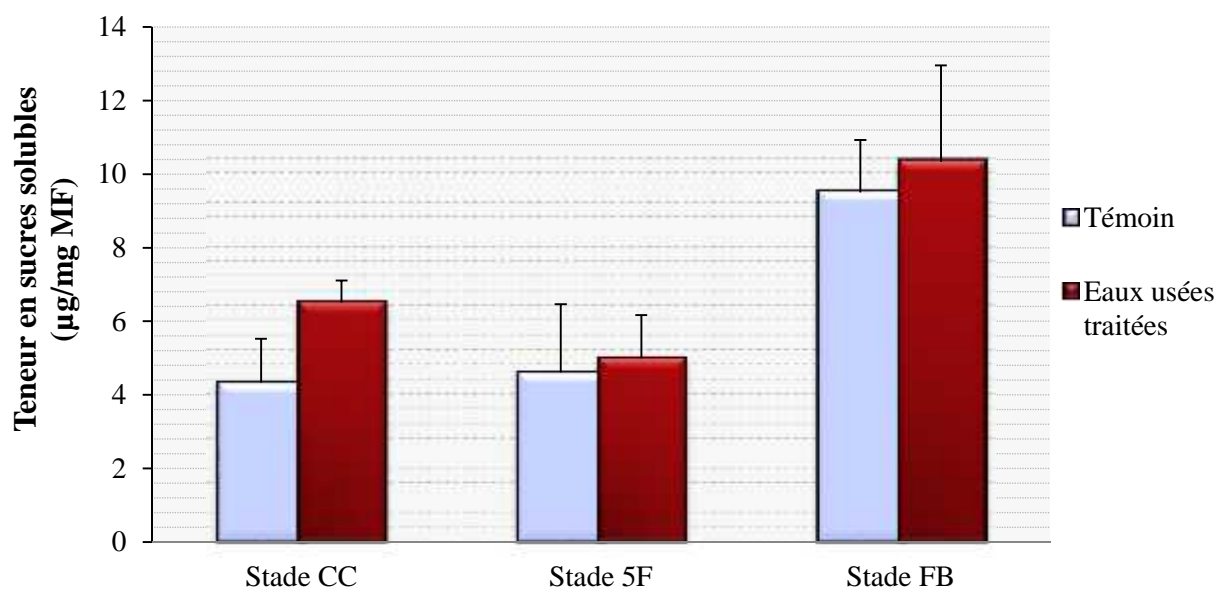


Figure 46: Effet EUT sur la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles en (µg/mg MF).

Les résultats obtenus (figure 46) révèlent que la teneur en sucres solubles dans les feuilles des plantes traitées ne présente aucune différence significative selon que l'irrigation est réalisée avec des eaux usées épurées ou des eaux du robinet.

- Corrélation entre la teneur relative en protéines totales, en proline et en sucres solubles

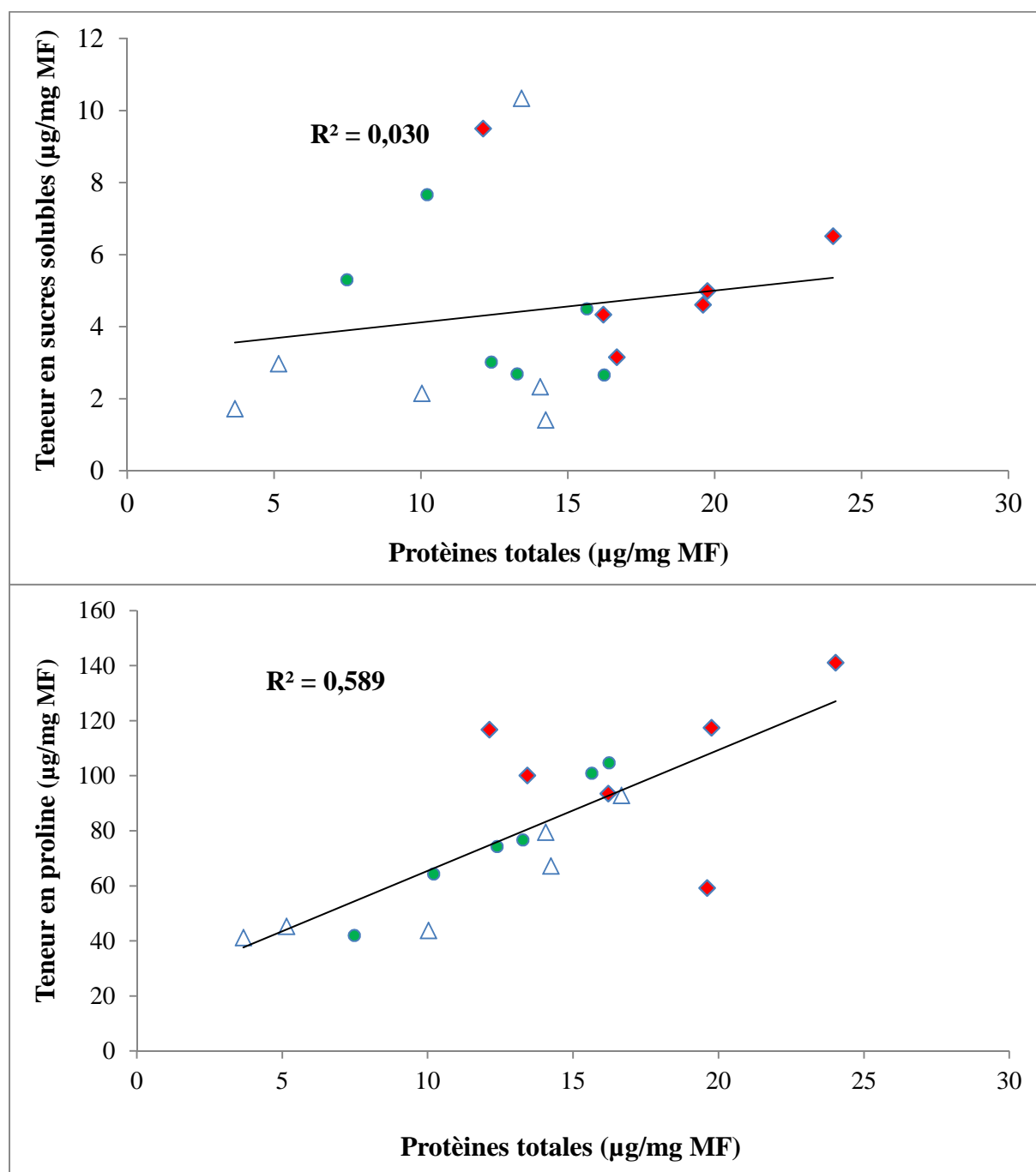


Figure 47: Corrélation entre la teneur relative en protéines totales et la concentration en proline et en sucres solubles ; () Tiges, (Δ) Racines, (\blacklozenge) Feuilles.

Les résultats de la figure (47) affichent une forte corrélation entre les teneurs en protéines totales et en proline avec un coefficient de régression ($R^2 = 0,589$). Par contre aucune corrélation n'est établie entre la teneur relative en protéines totales et celle des sucres solubles.

Discussion

La germination correspond à la reprise du métabolisme nécessaire à la transition de la phase de vie latente de la graine sèche à la phase de développement de la plantule (Anzala, 2006). Les résultats obtenus montrent que le traitement par les EUT provoque un allongement de la période de germination allant de quelques heures à une journée et demi. Ces perturbations observées pourraient être expliquées par le changement du potentiel osmotique du milieu due aux concentrations des sels dans les EUT. D'après (Ben Miled et *al.*, 1986), ce retard s'expliquerait par le temps nécessaire aux graines pour déclencher des mécanismes leur permettant d'ajuster la pression osmotique.

En ce qui concerne le taux de germination, le traitement par les EUT présente un effet positif sur le taux de levée des grains chez l'oignon « *Allium cepa* ». Ces résultats indiquent une tolérance de ces grains aux conditions défavorables du milieu. Solen (Guerrier, 1987), les mécanismes de hautes capacités de catalase et peroxydase dans les cotylédons participent à la détoxification et le rétablissement de l'équilibre thermodynamique avec le milieu.

La production de la biomasse est plus importante chez les plantes arrosées par les EUT que celles des témoins. Le gain en biomasse déterminé après six mois de culture était de 17,7% pour la partie souterraine et de 24,7% pour la partie foliaire. L'oignon « *Allium cepa* » semble agir favorablement à l'irrigation avec les EUT du fait qu'une meilleure assimilation due aux apports nutritifs notamment les composés azotés (Salsac et *al.*, 1984) qui induit une production photosynthétique importante dans les feuilles (Dali et *al.*, 1996). Nos résultats sont conformes à ceux de (Fars et *al.*, 2003), (Mohammad Rusan et *al.*, 2007) qui ont constaté une élévation de la biomasse chez les plantes fourragères quand elles sont irriguées par les EUT.

Une augmentation significative de la teneur en chlorophylles dans les feuilles des plantes irriguées par l'EUT a été enregistrée par rapport aux plantes témoins. Ceci est due probablement à une stimulation de la photosynthèse d'où la biosynthèse de chlorophylle (Prasad, 1995a). Elle peut être expliquée par le fait que les feuilles sont le siège de plusieurs métabolismes dont la photosynthèse et secrètent de nombreuses enzymes. Le système de défense foliaire est constitué d'enzymes de détoxification de la Phase 1 et de la Phase 2, cette détoxification enzymatique se traduit par une forte activité catalytique pour réduire le stress aux xénobiotiques (Pflugmacher et *al.*, 1997). Les travaux réalisés par (Bakken, 1995) et plus récemment (Bignal et *al.*, 2008) ont montré une assimilation chlorophyllienne en présence des EUT qui concorde avec nos résultats.

Concernant la teneur en protéines totales, les résultats obtenus montrent une augmentation chez les plantes traitées avec l'EUT par rapport aux témoins irriguées avec de l'eau ordinaire. Cette augmentation est plus importante aux stades physiologiques CC et 5F. Ceci peut s'expliquer par la présence des xénobiotiques au niveau des tissus qui stimule la synthèse protéique de nombreuses enzymes entre autres celles intervenant dans la détoxification et en particulier les phytochélatines (Solt et *al.*, 2003) et afin de neutraliser les substances toxiques pour la plante (Zienk, 1996). Nos résultats sont confortés par ceux de (Shraddha et *al.*, 2004) qui affirme une accumulation des protéines totales dans les tissus végétaux due à une exposition aux xénobiotiques. Nous avons constaté également que le taux de protéines dans les racines et les feuilles est plus important au niveau des tiges. Selon (Brix et Schierup, 1989), les racines présentent le siège de résistance de la plante aux différents stress, parce qu'elles sont rattachées au sédiment dont elles sont exposées à des concentrations élevées de xénobiotiques grâce à leur système enzymatique actif. (Folsom et Price, 1991; Plfugmacher et *al.*, 1997).

La proline est connue comme étant un biomarqueur (Lagadic et *al.*, 1997). Sa teneur est variable selon les espèces végétales et elle peut s'accumuler en grande quantité chez les espèces tolérantes (Driouich et *al.*, 2001). Durant notre expérimentation, nous avons observé une augmentation notoire de la teneur en proline dans les différents organes de la plante suite à une irrigation avec les EUT. La variété *Allium cepa* peut être considérée comme une variété ayant développé le mécanisme biochimique d'adaptation à l'irrigation avec les EUT. L'accumulation en proline dans les feuilles serait selon (Protensko et *al.*, 1968) un des facteurs d'adaptation au stress et de résistance puisque appliquée de façon exogène, elle permet de prolonger la résistance à la sécheresse (Nemmar, 1983 ; Zid et Grignon, 1991).

Binet (1989) a montré l'accumulation de la proline chez l'orge. Cette augmentation peut jouer un rôle osmoprotecteur et stabilisateur de protéines (Kuznetsiv et Sheveyakova, 1997 ; Shah et Dubey ; 1998) et aussi protecteur des membranes cytoplasmiques (Monneveux et Nemmar, 1986). Nos résultats concordent avec ceux de (Sivaramakrishnan et *al.*, 1988), (Greenway et Munns, 1988). (Feitosa et *al.*, 2001), (Meloni et *al.*, 2004) qui ont démontré que la proline s'accumule dans la plante qui se trouve dans des conditions défavorables.

D'autre part, nos résultats révèlent une forte corrélation entre la teneur en protéines totales et en proline qui montrent que l'accumulation de la proline peut être influée par des facteurs internes comme la synthèse protéique. Ces résultats sont confortés par ceux de (Goring et Plescher, 1986) et (Tahri et *al.*, 1998) qui affirment que toute augmentation de la teneur en protéines favorise une accumulation de la proline.

Pour la teneur en sucres solubles dans les racines et les feuilles, les plantes irriguées avec les EUT ont enregistré des teneurs plus importantes que les plantes témoins. L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes à fin de résister au stress abiotique (Bajji et *al.*, 1998). Selon Binet (1989) l'enrichissement en sucres solubles outre son indice osmotique pourrait protéger les membranes de la dessiccation. Il a été en effet montré que certains sucres comme le tréhalose, en se liant aux lipides membranaires pourrait stabiliser la structure des membranes pendant la dessiccation.

Nos résultats sont en accord avec les travaux de (Trad Ra s, 2009) qui affirme l'accumulation des sucres solubles chez plusieurs variétés d'oliviers irriguées par les eaux usées traitées et avec ceux de (Rather, 1984) qui a travaillé sur d'autres espèces comme l'haricot et le riz. Ces résultats sont conformes à ceux de (Bekhouche et Brinis, 2008b) qui montrent que l'irrigation avec des eaux usées provoque une augmentation des sucres solubles chez plusieurs variétés de blé.

Conclusion :

Nos résultats montrent que l'irrigation avec des eaux usées traitées de la station d'épuration de Guelma a provoqué chez la variété d'oignon *Allium cepa* une forte activité peroxydatique qui se traduit par une augmentation des taux de proline et de protéines totales. Ces réactions sont dépendantes de l'activité métabolique et physiologique de la plante qui se traduit par une stimulation de la photosynthèse et donc de la teneur totale en chlorophylles. La présence des matières organiques et des éléments toxiques dans les eaux usées traitées provoque chez la plante des réactions multiples dans le but de neutraliser les xénobiotiques et de fortifier les membranes cellulaires, rôle joué par la proline en tant que facteur osmorégulateur et régulateur du pH.

Ces phénomènes se manifestent chez la plante par l'accroissement de sa biomasse, c'est-à-dire par le développement du système racinaire et l'augmentation du volume des parties aériennes et de la plante entière en général (tige et racines). Concernant la germination, le traitement par les eaux usées traitées présente un effet positif sur le taux de levée des grains et un allongement de la période de germination chez l'oignon montrant ainsi la tolérance de la plante aux conditions défavorables du milieu.

Références

- Rey C, Stahl J , Antonin P , Neury G (1974)** Stades repères de l'oignon de semis. Revue Suisse de viticulture arboriculture horticulture. 6, (3), 1974, p101-104.
- P. Fournier. (1947).** Le livre des plantes médicinales et vénéneuses de France. *Lechevalier*. Pp 1140.
- FAO, 2007.** Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, FAO, Rome, 259 p.
<http://www.faostat.fao.org>
- Cossu, C., Doyotte, A., Jacquin, M.-C. & Vasseur, P., (1997).** Biomarqueurs de stress oxydant chez les animaux aquatiques, pp. 149-161. in Lagadic, L., T. Caquet, J.-C. Amiard & F. Ramade eds. , 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Collection Écologie, Paris, Masson, 419 pp.
- FAO. (2012),** Statistical Yearbook 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Pp 362
- Silué, S. Fondio, L.. Coulibaly M.Y & Magein H.. (2003).** Sélection de variétés d'oignon (*Allium cepa* L.) adaptées au nord de la Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, 2003, 21, 3, pp129-134.
- G.J.H Grubben et O.A Denton, (2004).** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2. Légume. *PROTA*. Wageningen. Pays-Bas. Pp 736.
- B. Boullard, (2001).** Plantes médicinales du monde. Réalités et croyances. Edition ESTEM, Paris France. Pp 645.
- Q.P van der meer et A.C., (1993).** *Allium cepa*. L. cv. Groupe Common Onion. In Siemonsma, J.S & Kasem Piluek (Editors) plant resources of South-East Asia N) 8. Vegetables. Pudoc Scientific publishers, Wageningen, Netherlands. Pp 68-71.
- Doré C.et Varoquaux F.2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Editions Quae. pp 812.
- Fleurance C. 2011.** Cultiver l'oignon de plein champ en agriculture biologique. Repères technico-économiques. *CTIFL*.pp8.
- Jones, H.A. & Mann, L.K. (1963) :** Onions and their allies. Inter. Sc. New York, 32p.

Nouveaux:

Salsac L., Chaillou S, 1984. Nutrition azotée des végétaux : importance physiologique et écologique de la fourniture d'azote sous forme nitrique ou ammoniacal, Bull. Soc. Écophysiol, 9, 111-128.

Dali N., Fertani A., Tissoui T., Harbaoui Y, 1996. Importance du saccharose et de la force de l'organe puits dans l'accumulation des sucres dans les fruits de tomates, Revue de l'INAT, 11(2) 97-103.

Tahri E. H., Belabed A., Sadki K, 1998. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1997-1998, n°21, pp. 81-87.

Sivaramakrishnan S., V.Pattel, G.Flower and. Paleg LG,1988. Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid season drought stress. Plant Physiol.,74,p.418426.

Greenway H. & R. Munns.,1988.Mechanims of salt tolerance in non halophytes .Annual Review of Plant Physiology,25,149190.

Feitosa LC., J.Cambraia, MA.OlivoCano & HA. Ruiz.,2001. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes under NaCl stress. Braz.J.Plant. Physiol , 13,270284.

Meloni DA., MR. Gulotta , CA.Martinez and MA. Oliva.,2004. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. Braz.J.Plant.Physiol.,Vol 16, N°1,8p.

Qian YL., S.J. Wilhelm & K.B. Marcum., 2001.Comparative Responses of Two Kentucky Bluegrass Cultivars to Salinity Stress. Crop Science, 41,p.18951900.

Bellinger Y.,A.Bensaoud & F.Larher.,1989.Physiology breeding of winter cereals for stress environments Colloque,N°3, Montpellier,France.

Paquin R.,1986. Effet de l'humidité du sol sur la teneur en proline libre et des sucres totaux de la luzerne endurcie au froid et à la sécheresse. Can.J.Plant Science,66,p.95101.

Djanaguiraman M., Sheeba J.A, 2006. Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment, Plant Soil (2006) 284:363–373.

Hare P.D., Cress W.A., Van Staden J, 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant and cell and environment*, 21:535-553.

Bajji M., Kinet J.M., Lutts Stanley, 1998-Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. *Plant Science*. 137:131-142.

Bensalem M, 1993- Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du triticale, Tolérance à la sécheresse des céréales en zone Méditerranéenne. *Diversité Génétique et Amélioration Variétale. Les colloques de l'INRA*, 64, pp : 275-298.

Rather G, 1984. Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 11, 491-495.

Trad Ra s M, 2009. Valorisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de complément de l'olivier (*Olea europaea* L.) : effets sur les comportements végétatif et productif de l'arbre et sur la qualité sanitaire des fruits. *Symposium international « AGDUMED »*, Rabat, Maroc 14-16 mai 2009, 142-155.

Darbyshire B., Steer B.T, 1990. Carbohydrate biochemistry. In R & B, 1990, III, 1, 1 -17.

Boullard B. (2001). Plantes médicinales du monde. Edition ESTEM. 660 pages Pp 23,24

Fournier P. (1999). Le livre des plantes médicinales et vénéneuses de la France. Edition Connaissance et mémoires Européennes. 54-57 p

Grubben G.J.H., Denton O.A. (2004). Ressources végétales de l'Afrique 2 : Légumes. Fondation PROTA Pp 49 de 736

Messiaen C.H. (1993). Les allium alimentaires reproduits par voie végétative. Edition Quae. Pp 79-82 de 228.

CHAPITRE III:

Culture de l'oignon⁹⁶

CHAPITRE IV: EFFETS DES EAUX USÉES TRAITÉES SUR LES BIOMARQUEURS ENZYMATIQUES.**Introduction**

Les biomarqueurs enzymatiques sont des outils mis en œuvre pour établir un diagnostic de risque environnemental. Leurs usages et leur intérêt, notamment dans la détermination de la pollution sont devenus incontournables (Amiard et *al.*, 1997). Le terme biomarqueur se réfère à tous les paramètres biochimiques, cellulaires, physiologiques ou comportementaux qui peuvent être mesurés dans les tissus pour mettre en évidence l'exposition à, ou les effets d'un ou plusieurs contaminants (Depledge, 1994).

Une des raisons invoquées le plus souvent pour soutenir l'utilisation de biomarqueurs dans les hydrosystèmes est de confirmer le risque associé à une pression et ainsi rendre plus acceptable la mise en place d'actions de restauration appropriées. Le biomarqueur mesuré sur un organisme (au niveau infra-cellulaire, cellulaire ou tissulaire) peut être interprété comme une réponse adaptative à un stress, telle qu'une pression toxique, ou encore comme un signal d'alerte d'apparition ultérieure de perturbations du fonctionnement de l'organisme (Van Gestel et Van Brummelen, 1996).

Cependant, le stress chimique n'est pas l'unique cause de modifications biologiques chez les organismes vivants. Les plantes sont souvent confrontées à des conditions environnementales défavorables qui ont pour conséquence une diminution de leur croissance. Dans le cas des interactions plantes-xénobiotiques, la mort cellulaire due à un stress est la plus fréquente. (Lamb, 1997).

Les biomarqueurs ne sont pas spécifiques d'une pollution mais ils évaluent un stress général ou particulier comme le stress oxydant. Dans notre expérimentation, les trois biomarqueurs de stress oxydant utilisés pour déterminer l'effet des eaux usées sur l'oignon «*Allium cepa* » sont l'ascorbate peroxydase-APX, le gaïacol peroxydase-GPOX et la catalase-CAT.

1. Le stress oxydant chez les végétaux

Les variations de l'environnement auxquelles sont sujets les végétaux les contraignent à posséder une forte capacité d'adaptation. Lorsque ces changements sont brutaux, ils peuvent provoquer l'apparition d'un stress oxydant caractérisé par la formation d'espèces oxygénées réactives (ERO) et nitrées réactives (ENR). Ce stress peut ainsi provenir de facteurs abiotiques, par exemple dans le cas d'un stress lumineux, d'une sécheresse, d'une exposition au froid, à la chaleur, à l'ultra-violet, ou dans les conditions d'hypoxie (Mittler, 2002).

Il peut également être de nature biotique comme l'attaque par des insectes, des animaux ou par des micro-organismes pathogènes tels des virus, des bactéries ou des champignons. Ces facteurs étrangers à la plante vont bouleverser son métabolisme, conduisant à la formation de composés réactifs qui peuvent induire différentes réactions de la plante (Noctor et Foyer, 2000).

2. Généralités sur le stress oxydant

Une des conséquences de l'exposition des êtres vivants aux contaminants est l'accroissement du stress. La notion de stress peut se définir comme étant la première rupture de l'homéostasie (équilibre sanitaire), nécessitant la mise en place de mécanismes de compensation. A l'origine du stress, il existe différents facteurs biotiques (engendrés par des fonctions normales de l'organisme ou une pathologie) et abiotiques (provoqués par un élément étranger à l'organisme). Il existe différents types de stress, dont le stress oxydant est le plus répandu (Faburé, 2009).

2.1 Définition du stress oxydant

On parle de stress oxydant lorsque la formation d'ERO excède les capacités de défense du système antioxydant. Selon (Sies, 1991), le stress oxydant résulte d'un déséquilibre entre les systèmes prooxydants et anti-oxydants en faveur des premiers et c'est une source d'effets toxiques potentiels. L'origine du stress oxydant chez les organismes aérobies provient de la consommation intracellulaire de la molécule d'oxygène qui est essentielle pour de nombreuses fonctions physiologiques et qui génère dans le même temps la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) potentiellement toxiques pour la cellule.

Les principales sources de production des ERO proviennent de la phosphorylation oxydative de l'ADP, des chaînes de transport d'électrons microsomales, de l'activité phagocytaire et de l'activité de plusieurs enzymes qui produisent des ERO comme molécules intermédiaires. Les xénobiotiques peuvent augmenter la production intracellulaire des ERO au cours de la réduction où ils peuvent être transformés en radical libre qui va rapidement donner son électron à une molécule d'oxygène et produire un radical anion superoxide ($O_2^{\bullet-}$).

2.2 Les radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique contenant un électron célibataire non apparié au niveau de son orbitale électronique périphérique, cet état confère à la molécule une grande instabilité et une réactivité vis-à-vis d'autres molécules. Ce déséquilibre n'est que transitoire et est comblé soit par l'acceptation d'un autre électron soit par le transfert de l'électron libre sur une autre molécule. La probabilité entre ces deux possibilités dépend essentiellement de l'instabilité du radical libre (Kohen et Nyska, 2002 ; Klein et Ackerman, 2003).

2.3 Les espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Le terme d'ERO est un terme collectif décrivant à la fois les radicaux de l'oxygène ($O_2^{\bullet-}$, OH^{\bullet} , ROO^{\bullet} , RO^{\bullet}) et ses dérivés non radicalaires (H_2O_2 , $HOCl$, O_2 singulet, O_3). Les ERO sont constamment produites chez les organismes vivants au cours de leur métabolisme normal et en particulier au niveau de la chaîne respiratoire mitochondriale où 1 à 2% de l'oxygène métabolisé est converti en $O_2^{\bullet-}$.

Des sources exogènes telles que les radiations ionisantes et les polluants peuvent également générer ces ERO et imposer un stress oxydant supplémentaire aux systèmes biologiques. Elles peuvent causer des dommages permanents ou transitoires. Toutefois, si la réactivité des ERO peut être à l'origine d'effets biologiques néfastes, la relation réactivité toxicité n'est pas aussi simple qu'il y paraît à première vue. L'intervention d'ERO ne s'accompagne pas systématiquement de phénomènes de toxicité, notamment certaines ERO sont des intermédiaires de processus physiologiques normaux. D'autre part, en cas de dysfonctionnement et de surproduction de ces espèces, celles-ci peuvent être neutralisées et les lésions initiales réparées et compensées (Faburé, 2009).

2.4 La réponse adaptative au stress oxydant

La capacité de résister au stress oxydant est essentielle pour la survie de l'organisme. De nombreux mécanismes protègent les cellules contre les éléments étrangers et les espèces réactives de l'oxygène. L'accumulation intracellulaire des substances pro-oxydantes toxiques est empêchée par l'action de composés antioxydants et aussi par l'action de systèmes enzymatiques antioxydants. Un certain nombre de gènes codant pour des protéines impliquées dans ces processus peuvent être induits par les composés contre lesquels ils fournissent une protection permettant ainsi aux cellules de survivre à l'exposition aux xénobiotiques et aux oxydants.

Tableau 27: Localisation et mécanisme de production des espèces réactives de l'oxygène dans les cellules végétales (Bidar, 2007).

	Sites	Mécanismes	ERO
Production des ERO	Chloroplastes	Photosynthèse : TE PS I et PS II Chlorophylle	O_2^\bullet , 1O_2
	Mitochondries	Respiration : TE chaîne respiratoire	O_2^\bullet
	Réticulum endoplasmique	Réduction de substrat contenant -RH	O_2^\bullet
	Peroxisomes Glyoxysomes	Photorespiration : glycolate oxydase -oxydation des acides gras : Xanthine oxydase	H_2O_2 , O_2^\bullet
	Membranes plasmiques	NADPH-oxydase	O_2^\bullet
	Parois cellulotiques	Peroxydase, Mn^{2+} et NADH	H_2O_2 , O_2^\bullet
	Apoplastes	Oxalate oxydase, amine oxydase	H_2O_2

3. Les mécanismes de défense antioxydant

Pour répondre à ces dommages, divers composés qualifiés d'antioxydants sont synthétisés au niveau cellulaire. Les trois principaux mécanismes d'action antioxydante développés par les organismes vivants visent à éliminer les ERO et les catalyseurs de leur formation à induire la synthèse des antioxydants et à augmenter l'activité des systèmes de réparation et d'élimination des molécules endommagées.

3.1 Les Biomarqueurs non Enzymatiques

Avant d'introduire les systèmes enzymatiques, il est important de noter qu'il existe également des systèmes non-enzymatiques de dégradation des ERO. Il s'agit le plus souvent du glutathion, l'ascorbate, de l'acide lipoïque, de l' α -tocophérol, et des caroténoïdes. Ces molécules antioxydantes non enzymatiques agissent par réduction ou piégeage de radicaux : elles renforcent les actions des enzymes antioxydantes (Faburé, 2009).

3.1.1 Le glutathion

Le glutathion (L- γ -glutamyl-L-cystéinyl-glycine) est un tripeptide ubiquitaire retrouvé chez les mammifères, la plupart des plantes et les microorganismes. Dans les conditions physiologiques, le glutathion réduit (GSH) résistant à l'oxydation spontanée est maintenu en équilibre dans le cytosol avec sa forme oxydée disulfure (GSSG).

Le glutathion neutralise les ERO comme les radicaux hydroxyles comme il peut réduire le peroxyde d'hydrogène et les lipoperoxydes et inactive l'oxygène singulet à pH= 7. Il est utilisé dans la photosynthèse des phytochélatines, et se trouve dans les membranes et les chloroplastes (Cadenas, 1989).

3.1.2 L'ascorbate

L'acide ascorbique (ou vitamine C) est une molécule présente dans tous les compartiments cellulaires mais particulièrement abondante dans le chloroplaste. Il est connu pour régénérer les ascorbate peroxydases, puis il se retrouve oxydé sous forme de monodéhydroascorbate (MDHA) ou déhydroascorbate (DHA). Ces deux composés sont ensuite principalement réduits respectivement par des MDHA et DHA réductases, participant au cycle ascorbate-glutathion (Sanmartin et *al.*, 2007).

3.1.3 L'acide lipoïque

L'acide lipoïque sous forme libre pourrait aussi constituer un antioxydant en réagissant avec certains ERO comme $O_2^{\bullet-}$ et OH^{\bullet} , ou en chélatant certains métaux (Petersen Shay et *al.*, 2008). Toutefois, sa fonction première semble être servir de cofacteur à plusieurs enzymes mitochondriales (Taylor et *al.*, 2004).

3.1.4 Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments dont font partie les carotènes et les xanthophylles. On les retrouve dans tous les organes colorés d'une plante (fleur, feuille, fruit, racine...etc). Ils sont capables de réagir avec l'oxygène singulet produit au niveau du chloroplaste protégeant ainsi la chaîne de transport d'électrons photosynthétique (Havaux et *al.*, 2007).

3.1.5 L' α -tocophérol

La vitamine E (dont l' α -tocophérol) est lipophile, on la trouve associée aux membranes intracellulaires notamment celles des chloroplastes, des mitochondries et du réticulum endoplasmique. Elle protège les membranes contre la lipoperoxydation en cédant un atome d'hydrogène aux espèces radicalaires (Byczkowski et Gessner, 1988 ; Cadenas, 1989). Elle est régénérée par la vitamine C.

3.2 Les Biomarqueurs Enzymatiques

3.2.1 La Catalase (CAT) :

La catalase (CAT) est une enzyme cytosolique inductible dont la fonction est de protéger les systèmes biologiques contre les espèces réactives de l'oxygène (Roméo et *al.*, 2000). Il s'agit d'une hémoprotéine tétramérique qui, avec un atome de fer par sous unité a une masse d'environ 240 KDa. Ces enzymes agissent en synergie avec les SODs puisque leur rôle est de catalyser la réduction du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire selon la réaction suivante : $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$

Sa localisation peroxysomale fait de la catalase une enzyme antioxydante complémentaire de la SeGPX contre la peroxydation induite par le peroxyde d'hydrogène (Cossu et *al.*, 1997).

3.2.2 Les superoxyde dismutases (SODs)

Ils sont responsables de la dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) selon la réaction suivante: $2\text{O}_2^{\cdot-} + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$

Ces enzymes existent sous différentes isoformes dont la structure d'ensemble est bien conservée au cours de leur évolution. Le repliement tridimensionnel forme un puits hydrophobe au centre de la protéine dans lequel se glisse l'anion superoxyde. Le mécanisme réactionnel est catalysé par un métal divalent situé au niveau de l'enzyme. Selon la nature de ce métal on distingue les superoxyde-dismutases à manganèse (Mn-SOD) localisées dans les mitochondries, les superoxyde-dismutases à cuivre-zinc (Cu/Zn-SOD), cytosoliques et enfin, les superoxydedismutases à fer ferreux (Fe-SOD) localisées dans le chloroplaste (Sbartai, 2008).

3.2.3 Les peroxydases (POX)

Ils permettent comme les catalases, la réduction de H_2O_2 en eau et en oxygène moléculaire. Cependant, à la différence des catalases, les POX nécessitent la présence d'un substrat particulier pour réaliser leurs activités. Deux types principaux de « molécules antioxydantes » sont utilisés comme substrat par les peroxydases : l'acide ascorbique (ASC) et le glutathion (GSH). Ces deux molécules participent au cycle « ascorbate/glutathion » dont la première étape consiste en une réduction du peroxyde d'hydrogène en H_2O couplée à une oxydation de l'ascorbate en monodéhydroascorbate (MDHA). Cette étape est catalysée par l'ascorbate peroxydase (APX). Pour permettre la poursuite de cette réaction, l'ascorbate oxydé doit être à nouveau réduit (Noctor et Foyer, 1998).

3.2.4 L'ascorbate peroxydase (APX)

L'ascorbate peroxydase existe comme iosenzyme et joue un rôle important dans le métabolisme du peroxyde d'hydrogène chez les végétaux supérieurs (Shigeoka et *al.*, 2002). L'ascorbate peroxydase réduit le peroxyde d'hydrogène en eau en utilisant l'ascorbate comme donneur d'électron. C'est une enzyme clé du cycle glutathion ascorbate. En effet, la deshydroascorbate résultant de cette réaction est recyclée en ascorbate par le glutathion réduit qui donne un électron en s'oxydant. Cette forme oxydée est reconvertie en forme réduite par l'enzyme glutathion réductase, NAD(P)H dépendante (Baccouch et *al.*, 1998).

3.2.5 Le gaïacol peroxydase (GPOX)

Elle est couramment appelée gaïacol peroxydase du fait de l'utilisation du gaïacol comme substrat universel dans les techniques de dosages de l'activité de cette enzyme (Chaoui *et al.*, 1997; Bidar, 2007). En réalité, elle ne possède pas de substrat spécifique. Sa présence au niveau du cytosol, de la paroi cellulaire et dans les vacuoles permet de former de l'eau à partir de peroxyde d'hydrogène. Elle a également été détectée dans les mitochondries chez le maïs (*Zea mays* L.). Cette enzyme serait impliquée dans le métabolisme des phénols et alcaloïdes (Prasad *et al.*, 1995b).

(Amako *et al.*, 1994) indique la participation de cette peroxydase dans des processus physiologiques comme la biosynthèse de la lignine, le développement de la plante et l'organogenèse par la dégradation de l'acide indolacétique et la biosynthèse de l'éthylène. Les peroxydases interviennent également dans la suberisation, les pontages de protéines de la paroi cellulaire, la réponse au stress et la tolérance au sel (Ghamsari *et al.*, 2007). En réponse à des agents pathogènes et au phénomène de sénescence, l'expression d'isoenzymes spécifiques de gaïacol peroxydase a été mise en évidence par (Amako *et al.*, 1994). L'ascorbate serait un inhibiteur non compétitif de la GPOX (Ghamsari *et al.*, 2007).

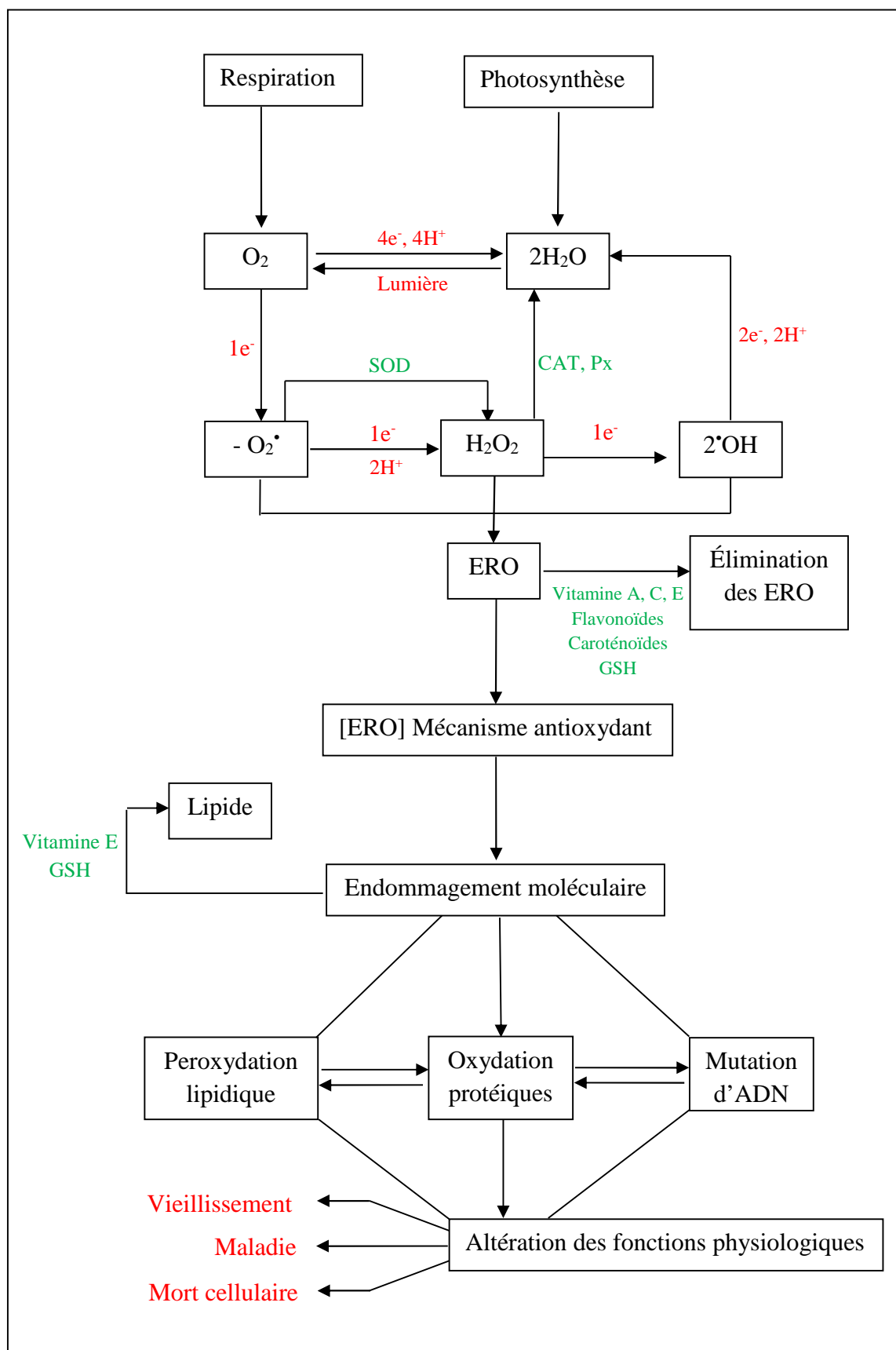


Figure 48: Dommages induits par les espèces réactives de l'oxygène (França et al., 2007).

4. Matériel et méthodes

4.1 Matériel

Durant cette expérimentation, le matériel biologique utilisé est le même que celui décrit dans le chapitre III.

4.2. Méthodes

4.2 Dosages Enzymatiques

- **Préparation de l'extrait enzymatique :** La méthode utilisée afin d'obtenir l'extrait enzymatique des racines et des feuilles de l'oignon est celle de (Loggini et *al.*, 1999). L'extrait a été utilisé pour la mesure de l'activité ascorbate-peroxydase (APX), gaïacols-peroxydase (APX) et le catalase (CAT).
- On prend 1 g de matière fraîche (feuilles et racines) broyé à 4°C dans un mortier avec 5 ml de tampon phosphate (50 mM phosphate, pH = 7,5). L'homogénat est ensuite filtré à l'aide d'une toile adéquate avant de procéder à une centrifugation à froid de 12000 g pendant 20 min (centrifugeuse Sigma 3-16 k). Le surnageant obtenu est utilisé comme extrait enzymatique brut pour la détermination des différentes activités enzymatique.
- **Quantification des mesures spectrophotométriques :** La formule suivante est utilisée dans la quantification des différentes mesures spectrophotométriques suite aux dosages enzymatiques de la GPX, APX et CAT (Servais, 2004).

$$Act = \frac{\Delta A. Vt}{\epsilon. \Delta T. L. Ve. P}$$

Act: Activité enzymatique en nmole/min/mg de Protéines.

: Coefficient d'extinction linéique molaire en M.

A : Différence moyenne de l'absorbance.

Vt : Volume total du mélange réactionnel en ml.

Ve : Volume de l'extrait enzymatique en ml.

L : Largeur de la cuve de mesure en cm.

P : Teneur en protéine en mg/g.

T : Temps de lecture.

4.2.1 Dosage de l'activité catalase (CAT)

Le dosage spectrophotométrique de l'activité de la catalase (CAT) est réalisé suivant la méthode de (Cakmak et Horst, 1991). La décroissance de l'absorbance est enregistrée pendant trois minutes (spectrophotomètre Jenway 6300) pour une longueur d'onde de 240 nm et un coefficient d'extinction linéique molaire $= 39400 \text{ M}^{-1}.\text{cm}^{-1}.$ Pour un volume final de 3 ml, le mélange réactionnel contient : 100 μl de l'extrait enzymatique brut, 50 μl de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 à 0,3% et 2850 μl de tampon phosphate (50 mM, pH = 7,2). L'étalonnage de l'appareil se fait à l'aide du mélange réactionnel dépourvu de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'addition d'eau oxygénée.

L'activité catalase est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

4.2.2 Dosage de l'activité Ascorbate-peroxydases (APX)

Le dosage spectrophotométrique de l'activité ascorbate-peroxydase (APX) est réalisé suivant le protocole adopté par Nakano et Azada (1987). Le volume réactionnel final de 3ml contient : 100 μl de l'extrait enzymatique, 50 μl de H_2O_2 à 0,3% et 2850 μl de tampon phosphate NaK-Ascorbate (50 mM NaK, 0,5 mM ascorbate, pH = 7,2). L'étalonnage de l'appareil est réalisé à l'aide du mélange réactionnel moins l'extrait enzymatique. La lecture est effectuée à 290 nm pendant une minute et ce pour un coefficient d'extinction linéique molaire $= 2800 \text{ M}^{-1}.\text{cm}^{-1}.$

L'activité (APX) est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

4.2.3 Dosage de l'activité Gaïacol-peroxydase (GPOX)

L'activité Gaïacol-peroxydase (GPX) est déterminée spectrophotométriquement à une longueur d'onde de 470 nm suivant la technique de (Fielding et Hall *al.*, 1978) le coefficient de l'extinction linéique molaire utilisé est $= 2470 \text{ M}^{-1}.\text{cm}^{-1}.$ Pour un volume final de 3 ml, le mélange réactionnel contient : 100 μl d'extrait enzymatique, 50 μl d' H_2O_2 à 0,3% et 2850 μl de tampon phosphate-Gaïacol (50 mM NaK, 8 mM de gaïacol pH = 7,20) L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'ajout du peroxyde d'hydrogène.

L'activité (GPOX) est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

5. Résultats

• Effet des EUT sur l'activité de guaïgol peroxydase (GPOX)

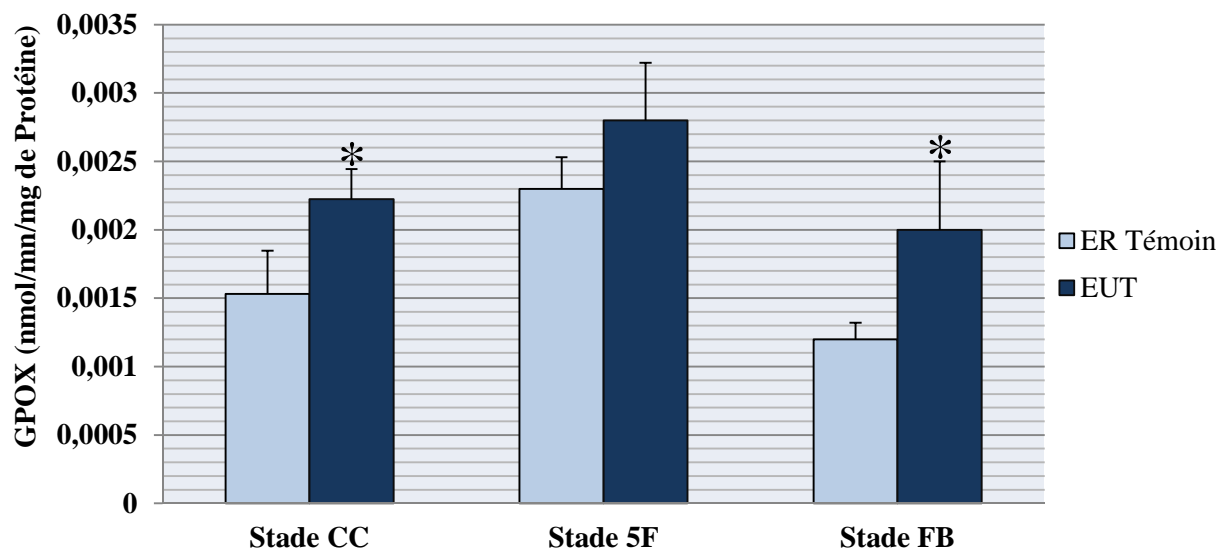


Figure 49: Effet des EUT sur l'activité de guaïgol peroxydase au niveau des racines.

La figure (49) montre l'évolution des concentrations en guaïgol peroxydase au niveau des racines. Nous constatons que le traitement par les EUT stimule l'activité enzymatique GPOX, l'augmentation est significative (*) au stade CC et au stade FB.

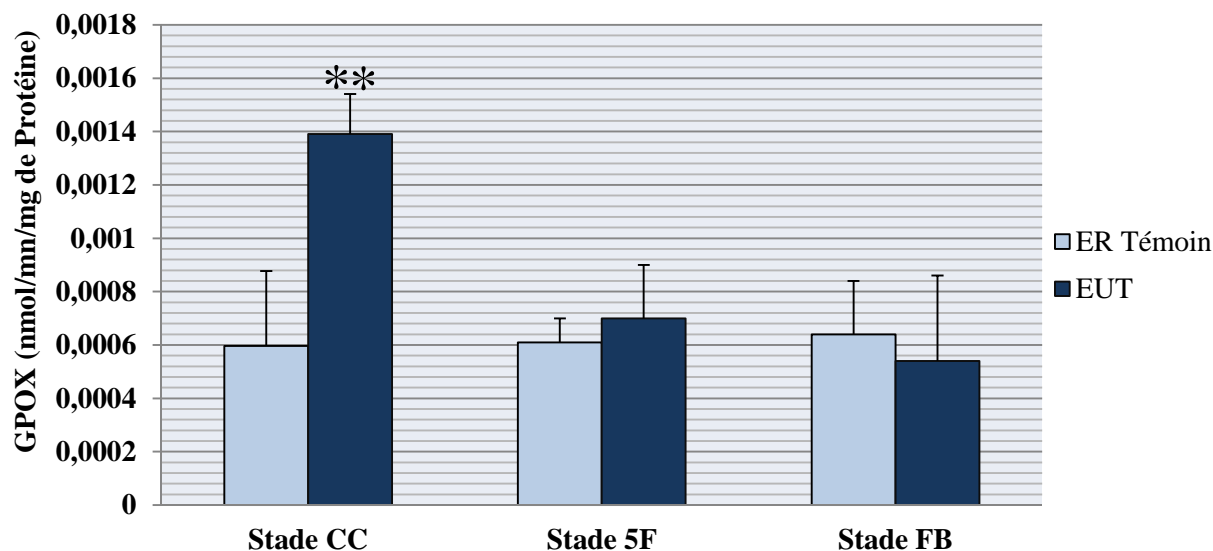


Figure 50: Effet des EUT sur l'activité de guaïgol peroxydase au niveau des feuilles.

Les variations des concentrations au niveau des feuilles en guaïgol peroxydase sont illustrées sur la figure (50). Une forte activité est enregistrée chez les plantes arrosées par l'EUT seulement au stade CC. Cette activité est hautement significative (**) par rapport à celle mesurée chez les plantes témoins (arrosées par l'eau de robinet).

- Effet des EUT sur l'activité de la catalase (CAT)

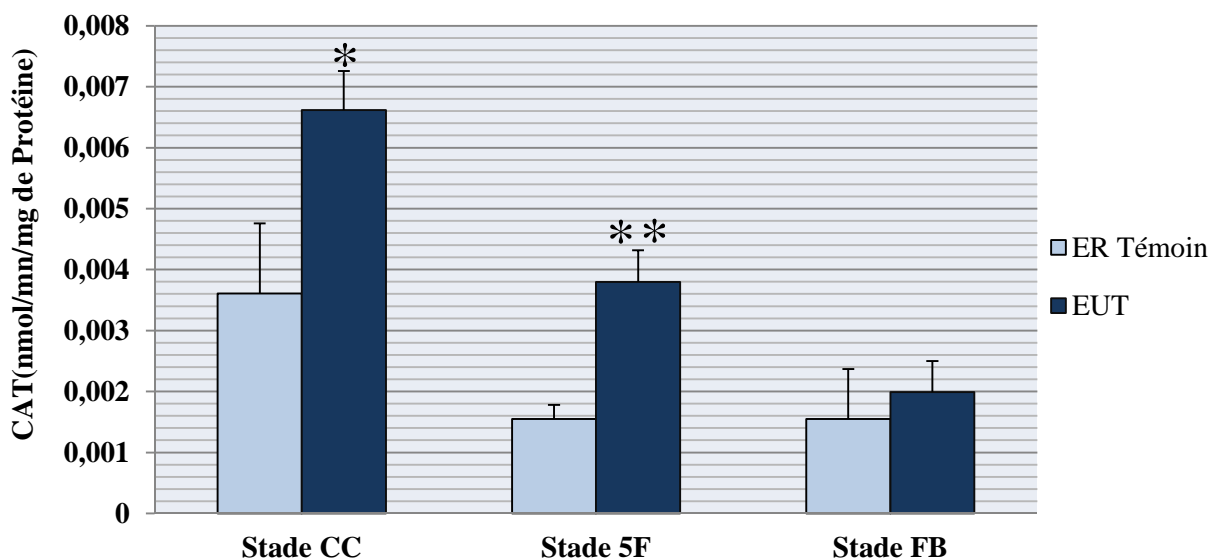


Figure 51: Effet des EUT sur l'activité de la catalase au niveau des racines de l'oignon.

Les résultats de la figure (51) représentent la variation de la quantité du catalase au niveau des racines de l'oignon. Le taux de la catalase est largement supérieur chez les plantes irriguées par les EUT par rapport aux témoins. Cette augmentation est significative au stade CC et très significative au stade 5F.

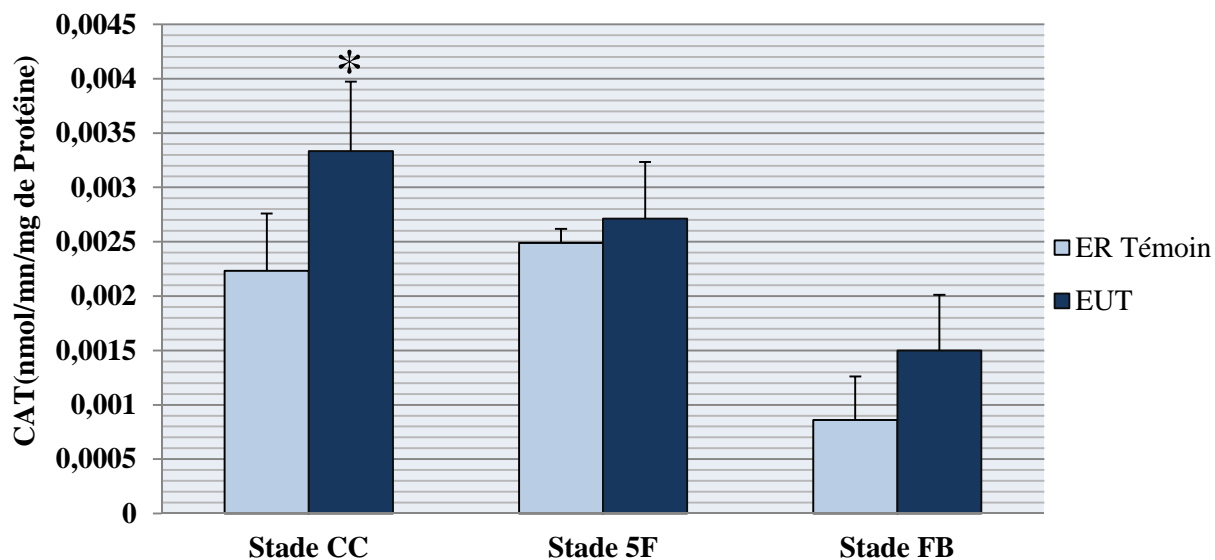


Figure 52: Effet des EUT sur l'activité de la Catalase au niveau des feuilles de l'oignon.

Les résultats du suivi de l'activité catalase au niveau des feuilles sont enregistrés sur la figure (52). Le traitement par les EUT a provoqué une activité importante de la catalase seulement au stade CC.

- Effet des EUT sur l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX)

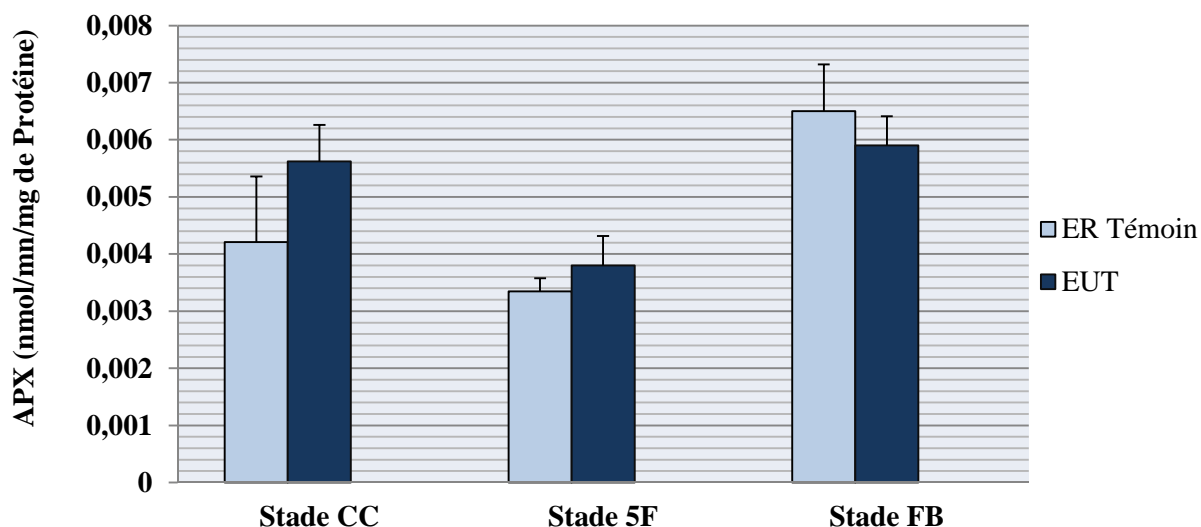


Figure 53: Effet des EUT sur l'activité de la (APX) au niveau des racines.

L'activité de l'APX mesurée au niveau des racines de l'oignon au cours des trois stades de développement est présentée dans la figure (53). Les résultats montrent que les EUT n'ont aucun effet significatif sur l'activité enzymatique de l'APX sauf une légère stimulation au stade CC.

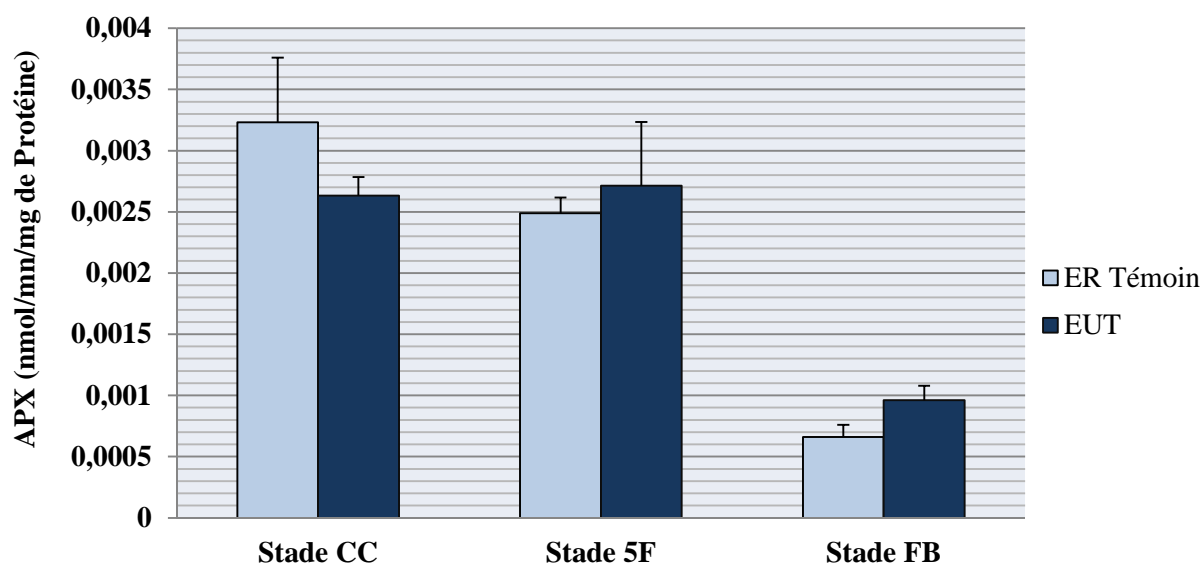


Figure 54: Effet des EUT sur l'activité de la (APX) au niveau des feuilles de l'oignon.

La figure (54) illustre l'effet de l'irrigation par les EUT sur l'activité de l'APX au niveau des feuilles de l'oignon. Les plantes arrosées par les EUT n'affichent aucune modification significative du taux de l'APX par rapport aux témoins.

6. Discussion :

Les résultats obtenus montrent que l'irrigation avec les eaux usées traitées a provoqué chez « *Allium cepa* » une forte activité peroxydatique qui se traduit par une augmentation des taux de (GPX) au niveau des racines et aux trois stades de développement. Le taux de peroxydase au niveau des feuilles traitées est largement supérieur à celui des feuilles témoins, cette augmentation est hautement significative durant le stade CC. Cette forte activité de gaïacol-peroxydase semble due à un stress oxydant induit par les xénobiotiques qui contaminent les EUT. Une forte activité de GPX pourrait être un signe de stress oxydatif sévère ou un mécanisme de réponse efficace au stress (Zlatev et *al.*, 2006). Sa présence au niveau du cytosol de la paroi cellulaire et dans les vacuoles permet de former de l'eau à partir de peroxyde d'hydrogène, Cette enzyme serait impliquée dans le métabolisme des phénols et alcaloïdes (Prasad et *al.*, 1995b).

Nos résultats sont en accord avec ceux de (Hegedüs et *al.*, 2001 ; Milane et *al.*, 2003) qui ont montré que l'induction de la GPX constitue une réponse de la plante au stress oxydant induit par le xénobiotique. Ils concordent également avec les travaux de (Tahlil et *al.*, 2003) qui prouvent que l'activité de la peroxydase est affectée en fonction du traitement et de la variété des plantes, la culture des plantes dans des sols contaminés par des eaux usées conduit à une augmentation de 14% à 45% de la quantité de la peroxydase au niveau des feuilles et des racines.

Concernant l'activité de la catalase, une augmentation de l'activité de celle-ci est enregistrée chez les plantes arrosées par les EUT par rapport à celles des témoins. Ceci pourrait être dû au déclenchement de systèmes de détoxification, ce qui permet à une tolérance et une adaptation au xénobiotique se traduisant ainsi par une augmentation de ces enzymes (CAT). Certains travaux ont montré une élévation de l'activité enzymatique de la catalase après des expositions aux polluants comme le cobalt (Kumar Tewari et *al.*, 2002), au plomb (Verma et Dubey, 2003), au mélange chlorure de sodium et silicone (Zhu et *al.*, 2004), au cuivre (Cuypers et *al.*, 2001), au cadmium (Smeets et *al.*, 2005) et à l'uranium (Vandenhove et *al.*, 2006).

Les résultats obtenus peuvent être expliqué par l'augmentation de la synthèse protéique et par la stimulation de l'oxydation enzymatique du glutathion ce qui entraîne un stress oxydant aboutissant à l'induction des peroxydases (Piqueras et *al.*, 1999). Le stress oxydant est susceptible d'être provoqué par des polluants ainsi que des facteurs endogènes notamment des taux élevés en acide gras polyinsaturés, en protéines et en teneurs élevées en oxygène (Cossu et *al.*, 1997).

Les dosages réalisés montrent que l'activité de l'APX ne varient pas suite à l'exposition aux xénobiotiques et à l'irrigation avec les EUT. Le taux de l'APX varie au niveau des racines et des feuilles et ce au niveau des trois stades de développement de la plante, sans que ces variations ne soient significatives. Ceci peut être expliqué par l'intervention de l'APX au cycle de Haliwell-Asada qui permet le recyclage de l'ascorbate et assure l'élimination de H_2O_2 dans tous les tissus (Faburé, 2009).

Conclusion

Au cours de notre expérimentation, nous avons constaté que lorsque les plants de la variété d'oignon testée sont irrigués par les eaux usées traitées, l'activité des biomarqueurs enzymatiques semble être sensible et répond rapidement à la présence du polluant. La tolérance aux xénobiotiques chez « *Allium cepa* » se traduit par l'activation de la réponse anti oxydante dans le système racinaire qui se poursuit après au niveau des feuilles.

Les résultats des activités spécifiques de Guaïgol peroxydase (GPX) et de la catalase (CAT) indiquent une grande capacité antioxydative de l'oignon. Cette activité peut représenter une réponse de ces plantes au stress oxydatif provoqué probablement par l'accumulation des xénobiotiques au niveau cellulaire. Sachant que le stress oxydant n'est pas toujours lié à la pollution, il peut être le résultat des réactions physiologiques (biomasse, taux de protéines totales ...) ou lié à des facteurs environnementaux (climat...).

L'irrigation avec les EUT ne provoque aucune activité de l'ascorbate peroxydase. Cette voie enzymatique ne semble pas être inhibée, ni activée par certains xénobiotiques présents dans les EUT.

CHAPITRE IV:

Effets des EUT sur les biomarqueurs enzymatiques

Conclusion générale

L'Algérie est classée dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la banque mondiale à 1000 m³/habitant/an. La forte croissance démographique, l'urbanisation massive et le développement des activités industrielles ont généré une production importante d'eaux usées qui peuvent constituer une ressource en eau non négligeable suite à son recyclage.

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que les eaux usées épurées de la station de Guelma peuvent être valorisées, leurs caractéristiques physico-chimiques leur acquièrent un potentiel d'utilisation. Les résultats d'analyses obtenus au cours des six mois d'expérimentation présentent des valeurs qui sont en grande partie conformes aux normes internationales d'une eau d'irrigation. En effet, ces eaux peuvent véhiculer des polluants qui peuvent être à l'origine des problèmes de santé publique. Cependant, il faut rester vigilant quand à l'utilisation des eaux usées traitées par la station de Guelma en agriculture.

Il est souvent difficile d'établir la distinction entre les éléments toxiques, ceux ayant des effets bénéfiques et même ceux qui sont essentiels. Tous les éléments traces peuvent avoir des effets néfastes sur la plante si leur disponibilité dans le sol dépasse certains seuils. De tels seuils dépendent de l'espèce végétale, du sol et des conditions climatiques.

Nos résultats montrent que la variété d'oignon (*Allium cepa*) semble répondre favorablement à l'utilisation des eaux usées traitées pour son irrigation du fait d'une meilleure assimilation grâce aux apports nutritifs des eaux d'irrigation qui donne des résultats positifs sur la biomasse et sur le taux de germination. Nous avons démontré que les plantes d'*Allium cepa* étudiés sont capables de s'adapter à l'irrigation par les eaux usées épurées en accumulant des solutés organiques (protéines, proline, sucres solubles et chlorophylles). L'accumulation de substances chimiques comme réponse au stress est différente d'un substrat à un autre.

L'activité des biomarqueurs enzymatiques est sensible et répond spontanément à la présence du polluant. La tolérance aux xénobiotiques chez l'*Allium cepa* se traduit par une activation de la réponse anti oxydante dans le système racinaire qui se déclenche par la suite au niveau foliaire. Les valeurs des activités spécifiques de guaïgol peroxydase (GPOX) et de la catalase (CAT) élément indicateur d'un stress chez la plante montrent une grande capacité antioxydative de l'oignon.

Perspectives

Perspectives

- 1- Un traitement plus poussé des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma est conseillé.
- 2- Travailler sur une plus large gamme d'espèces.
- 3- Continuer les analyses d'autres nutriments et la détermination de leurs valeurs technologiques et nutritionnelles.
- 4- Étendre l'investigation vers une exploration bactériologique (autres paramètres).
- 5- Dosage des métaux lourds dans la plante et les eaux.
- 6- Redéfinir le concept de l'interaction : $P = G + E$

P = Phénotype

G = Patrimoine génétique

E = Environnement

Références bibliographiques

ABHCSM, 2005. Pollution des eaux superficielles dans le bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue 1998-2003, Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Seybousse-Mellegue, Cahier de l'agence 9, Algérie, 44 p.

AFD, 2011. Réutilisation des eaux usées traitées : Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action, Rapport final de l'Agence Française de Développement, France, 72 p.

AFNOR, 1997. Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises. Environnement. Tomes 1, 2, 3 et 4. 1372 p.

Ait Hamou R., Boulahbal O., Haddadi F, 2000. Impact microbiologique des eaux usées traitées sur le poivron et le maïs fourrager. Recherche Agronomique 7, 77-85.

Amako K., Chen GX., Asada K, 1994. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxydase and for chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxydase in plants. Plan cell physiology 35, 497-504.

Amiard JC., Caquet T., Lagadic L, 1997. Les biomarqueurs parmi les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement. In: Lagadic L. Caquet T., Amiard J-C., Radame F (Eds). Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Tec&Doc., Lavoisier, Paris, 21-31.

Anzala FJ, 2006. Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*) : Étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'Aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat. Université d'Angers, France, 148 p.

Archibald F, 2000. The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems : a cause for concern?. Water Quality Research Journal of Canada 35(1), 1-22.

Arnon DL, 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxydase in *Betta vulgaris*. Plant physiol 24, 1-25.

Ayers RS., Westcot DW, 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 rev. 1, Rome, 174 p.

Baccouch S., Chaoui A., El Ferjani E, 1998. Nickel-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Zea mays* shoots. Plant Physiol Biochem 36(9), 689-694.

Bagnouls F., Gaussen H, 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. His. Nat 8, 193-239.

- Bajji M., Kinet JM., Lutts S, 1998.** Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. *Plant Science* 11(137), 131-142.
- Bakken S, 1995.** Effects of nitrogen supply and irradiance on growth and nitrogen status in the moss. *Dicranum majus* from differently polluted areas. *Journal of Bryology* 18, 707-721.
- Baritse L, 1989.** L'assainissement de la lagune de Lomé, un problème permanent. Faculté de Gembloux. *Un géo-éco Trop* 131, 65-72.
- Barthe C., Perron J., Perron JMR, 1998.** Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), Ministère de l'Environnement du Québec, Canada, 155 p.
- Baumont S., Camard JP., Franconi A, 2004.** Réutilisation des eaux usées épurées : Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, France, 176 p.
- Bekhouche F, 2008a.** Effets des eaux usées sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la Région de Ouargla. Thèse de Doctorat, Université de Annaba, Algérie, 88 p.
- Bekhouche F., Kirane D., Brinis L, 2008b.** Effet des eaux usées sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé tendre (*Triticum eastivum* L.) dans la région de Ouargla. *European Journal of Scientific Research* 19(3), 41-549.
- Beltrando G., Chemery L, 1995.** Dictionnaire du climat, Larousse, Paris, 344 p.
- Ben Miled D., Boussaid M., Abdelkefi A, 1986.** Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de germination. In : Colloque sur les végétaux en milieu aride, 8-10 septembre 1986, Djerba, Tunisie.
- Benbraika A., Ghedab R, 2013.** La tarification des coûts relatifs à l'eau en Algérie. *Revue des Sciences Humaines* 29, 7-21.
- Bengoumi M., Traoure A., Bouchriti N., Bengoumi D El Hraiki A, 2004.** Qualité de l'eau en aviculture. *Revue trimestrielle d'information scientifique et technique* 3(1), 5-25.
- Bentir M, 1996.** L'épuration des eaux résiduaires industrielles en Algérie: État actuel et perspectives. *Edil Inf Eau* 12, 4-5.
- Berland JM, 1994.** Normes : quelle influence sur les choix techniques dans les domaines de l'assainissement et de l'épuration ? Comparaison France / Allemagne. Thèse de Doctorat, l'École Nationale des Ponts et Chaussées, France, 348 p.

- Bidar G, 2007.** Intérêt du phytomanagement dans la gestion durable des sols pollués. Recherche des mécanismes biologiques de transfert et de localisation des métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans les strates herbacées et arborées. Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, France, 228 p.
- Signal KL., Ashmore MR., Headley AD, 2008.** Effects of air pollution from road transport on growth and physiology of six transplanted bryophyte species. *Environmental Pollution* 156, 332-340.
- Binet P, 1989.** Métabolisme et adaptation des végétaux supérieurs aux contraintes hydriques, thermiques et salines. *Bull. Ecol. T* 20(1), 41-49.
- Biswas AK, 1987.** Role of wastewater reuse in planning and management. *In*: Biswas AK., Arar A, 1988. Treatment and reuse of sewage effluent for irrigation. Butterworths for FAO, London, U.K, 394 p.
- Bitton G, 1999.** Wastewater Microbiology. John Wiley & Sons, USA, 578 p.
- Bontoux J, 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux de boisson. Cebedoc édition, Belgique, 169 p.
- Bouhoum K, 1987.** Devenir des œufs d'helminthes au cours d'un traitement expérimental d'épuration par bassin de stabilisation. Thèse 3^{ème} cycle en Sciences, Université de Marrakech, Maroc, 159 p.
- Boullard B, 2001.** Plantes médicinales du monde : Réalités et croyances. Edition ESTEM, Paris, France, 645 p.
- Boutin C, 2000.** Les filtres et lits plantés de roseaux en traitement d'eaux usées domestiques. Perspectives pour le traitement d'eaux pluviales. GRAIE. Le traitement des eaux par macrophytes. Le Bourget-du-Lac, 1 mars 2000. 12 p.
- Bouziani M, 2000.** L'eau, de la pénurie aux maladies. Edition Ibn-Khaldoun, Algérie, 223 p.
- Bradford M, 1976.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72, 248-254.
- Brahmia N, 2009.** Évaluation et gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. Mémoire de Magister, Université de Annaba, Algérie, 118 p.
- Brix M., Scheirup MM, 1989.** The use of aquatic macrophytes in Water pollution control. *Ambio* 18, 100-107.

Brown DH., White H, 1986. The effect of mercury on the physiology of *Rhytidial delphus squarrosus* (Hedw). Zqronst. University of Bristol. J. Bryol 14. 367-381.

Byczkowski JL., Gressner T, 1988. Biological rôle of superoxide dismutase. International Journal of view of Biochemistry 58, 79-110.

Cadenas E, 1989. Biochemistry of oxygen toxicity. Annual reetabolism in mammalian organs. Physiological review 59, 527-589.

Cakmak I., Horst WJ, 1991. Effect of aliminium on lipid peroxidation, superxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*), Physiol. Plant 83, 463-468.

Cardinal P, 2003. Lignes directrices pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire, Comité provincial sur l'uniformisation et l'interprétation des critères microbiologiques des aliments, Québec, Canada, 44 p.

Cardot C, 1999 .Génie de l'environnement : Les traitements de l'eau. Ellipses, Paris, 247p.

CDH, 1986. Les cultures maraîchères au Sénégal, Bilan des activités du (Centre pour le Développement de l'Horticulture) de 1972 à 1985, ISRA, 139-158.

CEAEQ, 2012. Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus* : Méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – STA 1.0. Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Rév. 4, Canada, 19 p.

Cemagref., SATESE., ENSP., Agence de l'eau, 1997. Lagunage naturel. Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France, Edition cemagref, Loire Bretagne, France, p 46.

Chafai D, 1996. Micromycètes des sédiments d'oueds et effluents industriels de l'Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Joseph Fourier, Grenoble I. France, 211 p.

Chaoui A., Mazhoudi S., Ghordal MH., El Ferjani E, 1997. Cadmium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean *Phaseolus vulgaris* L. Plant science 127, 139-147.

Chouabi A, 1987. Étude géologique de la région de Hammam N'bails : Sud-Est de Guelma-un secteur des Maghrébides, Constantine, Algérie, 35-49.

CNRST, 2002. Traitement et réutilisation des eaux usées urbaines. Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique du Maroc, Marrakech, Maroc, 82 p.

Condom N., Lefebvre M., Vandome L., 2012. La réutilisation des eaux usées traitées en méditerranée : Retour d'expériences et aide à l'élaboration de projets, Les Cahiers du Plan Bleu 11, Centre d'activités régionales du PNUE/PAM, France, 63 p.

Cossu C., Doyotte A., Jacquin M.C., Vasseur P., 1997. Biomarqueurs de stress oxydant chez les animaux aquatiques, pp 149-161. *in* Lagadic L., Caquet T., Amiard JC., Ramade F, 1997. Biomarqueurs en Écotoxicologie, Aspects fondamentaux, Masson, Paris, 419 p.

Cunningham WP., Cooper TH., Gorhani E., Hepworth MT, 2001. Environmental Encyclopedia, Jaico Publ House, Mumbai, 1196 p.

Cuyppers A., Vangronsveld J., Clijsters H, 2001. The redox status of plant cells (AsA and GSH) is sensitive to zinc imposed oxidative stress in roots and primary leaves of *Phaseolus vulgaris*. Plant physiology and biochemistry 39, 657-664.

Dadci K, 2008. Abdelmalek Sellal à Guelma. Press El Watan. Le 18/03/2008. Algérie.

Dagnelie P, 1999. Statistique théorique et appliquée. Tome 2: Interférence statistique à une et deux dimensions, Edt. Univ. De Boeck & Larcier, Bruxelles, 659 p.

Dali N., Fertani A., Tissoui T., Harbaoui Y, 1996. Importance du saccharose et de la force de l'organe puits dans l'accumulation des sucres dans les fruits de tomates. Revue de l'INAT 11(2), 97-103.

De Bon H., Faye F., Pagès J, 1991. La production d'oignon dans le Gandiolais, Sénégal. Newsletter for the Tropics 3, 5-7.

De la Souchère MP, 2009. L'eau en 150 questions. Ellipses Edition, France, 213 p.

Degremont, 1989. Mémento technique de l'eau : vol 1, 9^{ème} édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, France, 592 p.

Dellarras C, 2007. Microbiologie pratique pour laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire .Ed Médicales internationales, Lavoisier, Paris, 476 p.

Depledge MH, 1994. The rationale basis for the use of biomarkers as ecotoxicological tools. Non destructive biomarkers in vertebrates, *in* : Fossi, M.C., Leonzio, C., Eds. Lewis Publishers, p. 271-296.

DHW, 2006. Characteristic of the wells and drillings of the aquifer of Guelma, Report of the direction of hydrolics of Guelma, Algeria, 24 p.

DHW, 2007. Bilan des rejets domestiques et industriels du bassin de Guelma, Rapport inédit, Direction de l'hydraulique de Guelma, Algérie, 20 p.

Djabri L, Hani A., Mania J., Murdy J, 2001. Impact des eaux urbaines sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse. Symposium frontière de la gestion de l'eau urbaine, 18-20 juin 2001, Marseille, France.

Doré C., Varoquaux F, 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, Editions Quae, France, 812 p.

Dreier W, 1973. Possibilité d'une élaboration d'un test de présélection des variétés de plantes ayant une tolérance ou résistance aux sels sur la base de la sélection entre la teneur en proline des tissus végétaux et la résistance aux sels, Journées d'études de recherche agronomique du 20-30 Mars. INA El Harrach, Algérie.

Driouich A., Ouhssine M., Ouassou A., Bengueddour R, 2001. Effet du NaCl sur l'activité du phosphénol pyruvate carbosylase (PEPC) foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Science Letters 3(3), 1-7.

DSA, 2011. Programme de l'économie de l'eau. Diagnostique sur la situation de l'hydro-agricole. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Guelma. 27 p.

DSA, 2012. Statistiques agricoles de la wilaya de Guelma, Direction des Services Agricoles, Algérie, 40 p.

Ecosse D, 2001. Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. « Qualité et Gestion de l'Eau ». Mémoire de DESS, Université de Amiens, France, 62 p.

Edberg SC., Rice EW., Karlin RJ., Allen MJ, 2000. *Escherichia coli* : The best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of Applied Microbiology 88, 106-116.

El Amiri B., Sibaoueih M., Hadarbach D., Cohen N., et Chriyaa A, 2009. Impact de l'utilisation des eaux usées sur le bovin dans la commune des Mzamza, Province de Settat. Les Technologies de Laboratoire 17, 14-19.

Faburé J, 2009. Étude de l'accumulation et des effets des composés organiques volatils (BTEX) chez les bryophytes, Thèse de Doctorat, Université de Lille, France, 295 p.

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

Fagrouch A., Amyay S., Berrahou A., El Halouani H., Abdelmoumen H, 2010. Performances d'abattement des germes pathogènes en lagunage naturel sous climat aride : Cas de la filière de traitement des eaux usées de la ville de Taourirt. Afrique Science 6(3), 87-102.

- FAO, 1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 174 p.
- FAO, 1990.** La conservation et la restauration des terres en Afrique. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 1990.
- FAO, 2003.** Irrigation avec les eaux usées traitées, Manuel d'utilisation, Rome, Italie, 67 p.
- FAO, 2012.** Statistical Yearbook 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italie, 362 p.
- Fars S., Bousselhaj K., Nejmeddine A., Ouazzani N. Laghmari A., Bouadili A, 2003.** Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture: Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu, Cd et Cr). Séminaire internationale: Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration: optimisation, valorisation et durabilité, septembre 2003, Tunis, Tunisie.
- Feitosa LC., Cambraia J., Olivocano MA., Ruiz HA, 2001.** Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes under NaCl stress. *Braz.J.Plant. Physiol* 13,270-284.
- Fenwick GR., Hanley AB, 1990.** Chemical composition. In *R&B* (3)2, 17-32.
- Fielding JL., Hall JL, 1978.** A biochemical and cytochemical study of peroxidase activity in roots of *Pisum sativum*. *J. Exp. Bot* 29, 969-981.
- Figarella J., Leyral G., Terret M, 2001.** Microbiologie générale et appliquée, Ed. Jacques Lanore, France, 285 p.
- Fleurance C, 2011.** Cultiver l'oignon de plein champ en agriculture biologique. Repères technico-économiques, CTIFL, 8 p.
- Folsom BL., Pirce RA, 1991.** A plant bioassay for assessing plant uptake of contaminants from freshwater soils or dredged materials. *Plants Toxicity Assess* 2, 172-177.
- Fournier P, 1947.** Le livre des plantes médicinales et vénéneuses de France, Lechevalier, France, 1140 p.
- França MB., Panek AD., Eleutherio ECA, 2007.** Oxidative stress and its effects during dehydration. *Comparative Biochemistry and Physiology* 146(4), 621-631.
- Gallais A., Bannerot H, 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection, Edition Quae, IRNA, Paris, 768 p.

- Gaud B, 1988.** Étude de la nappe alluviale de la plaine de Guelma. Rapport inédit, DMRH, Annaba, Algérie, 85 p.
- Gaujous D, 1995.** La pollution des milieux aquatiques, Edit. Lavoisier Techniques et Documentation, Paris, 220 p.
- Gauvin D., Bolduc D., Chevalier P., Levallois P., Lévesque B, 2006.** Réutilisation d'effluents de stations de traitement d'eaux usées domestiques pour l'irrigation d'un terrain de golf, Institut National de Santé Publique du Québec, Canada, 11 p.
- Ghamsari L., Keyhani E., Golkhoo S, 2007.** Kinetics properties of guaiacol peroxidase activity in *Crocus sativus* L. corm during rooting. Iranian Biomedical Journal 11, 137-146.
- Gomella C., Guerree H, 1983.** Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : Le traitement, 2^{ème} Edition, EYROLLES, Paris, 260 p.
- Goring H., Plescher F, 1986.** Proline accumulation induced by weak acids and IAA in coleoptile of wheat seedlings. Biologia Plant Arum 28, 401-406.
- Greenway H., Munns R, 1988.** Mechanims of salt tolerance in non halophytes. Annual Review of Plant Physiology 25,149-190.
- Grubben GJH., Denton OA, 2004.** Ressources végétales de l'Afrique 2 : Légumes, Fondation PROTA, 736 p.
- Guerrier G, 1987.** Effets du NaCl sur les capacités oxydases durant la germination de semences de plantes sensible ou tolérante au sel. Biologia Plantarum 29 (4), 299-306.
- GWP, 2000.** Gestion intégrée des ressources en eau, Global Water Partnership, Article N° 3, Stockholm, 80 p.
- Hassoune EM., Bouzidi A., Koulali Y., Hadarbach D, 2006.** Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au Nord de la ville de Settat (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique. Sciences de la Vie 28, 61-71.
- Havaux M., Dall'osto L., Bassi R, 2007.** Zeaxanthin has enhanced antioxidant capacity with respect to all other xanthophylls in Arabidopsis leaves and functions independent of binding to PSII antennae. Plant Physiol 145(4), 1506- 1520.
- Hegedüs A., Erdei S., Horvath G, 2001.** Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedling under cadmium stress. Plant Science 160, 1085-1093.
- Hixot JD., Israel Stam GF, 1978.** A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. DI V. Life science 5, 1332-1334.

IPCC, 1996. Directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, Journal officiel n° L 257 du 10/10/1996, Union européen, p 26-40.

Jones HA., Mann LK, 1963. Onions arid their allies. Inter. Sc, New York, 32 p.

JORA, 2006. Valeurs limites des paramètres de rejets effluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, 23 Avril 2006, Algérie, 27 p.

Joy B., Reynaud A, 2003. Entérobactéries : Systématiques et méthodes d'analyses. Ed. Techniques et Documentation, Paris, 356 p.

Kali S., Benidir M., Belkheir B., Bousbia A, 2011. Éléments d'analyse de la filière lait dans la wilaya de Guelma (Algérie). Livestock Research for Rural Development 23(5), 1-10 p.

Kane A, 1997. Effets des fongicides (Basamid, Cryptonol/ Enzone) et des endomycorhizes sur la croissance-et le développement de deux variétés d'oignon (red créole et early yellow texas"grano 502 prr) cultivées, sur un "sol infesté par *pyrenochaeta terrestris* au nord ouest du Sénégal. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, 107 p.

Khadraoui A, 2005. DG/ABH Sahara. Gestion des ressources en eau et en sols dans les oasis Algériennes : cas de la vallée de l'Oued Rhir. Conférence Euro-Africaine-Paris-22 et 23 mars, Gestion de l'eau et aménagement du Territoire.

Klein JA., Ackerman SL, 2003. Oxidative stress, cell cycle, and neurodegeneration. J Clin Invest 111, 785-793.

Kohen R., Nyska A, 2002. Oxidation of biological systems : Oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reaction, and methods for their quantification. Toxicol pthol 30, 620-650.

Kumar Tewari R., Kumar P., Sharma PN., Bisht SS, 2002. Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt. Plant Science 162, 381-388.

Kunznetsiv V., Shevyakova NI, 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity : proline phosphorylation of polypeptides. Physiol. Plant 100, 320-386.

Lagadic L., Caquet T., Amiard JC, 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux, Ed Masson, France, 196 p.

Lahondère JC, 1987. Les séries ultra telliennes d'Algérie Nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 242 p.

- Lakhdari H., AYAD A, 2009.** Les conséquences du changement climatique sur le Développement de l'agriculture en Algérie : Quelles stratégies d'adaptation face à la rareté de l'eau ? Cinquième colloque international : Énergie, Changements Climatiques et Développement Durable, Hammamet (Tunisie), 15 -17 Juin 2009.
- Lamb CA., Dixon RA, 1997.** The oxidative burst in plant disease resistance. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 48, 251-275.
- Lazarova V., Brissaud F, 2007.** Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées traitées en France. *L'eau, l'industrie, les nuisances* 299, 29-39.
- Loggini F, 1999** in: Youbi M, 2005. Effets de deux fongicides Artea et Punch nouvellement introduits en Algérie sur la physiologie et le métabolisme respiratoire du blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Magister, Université de Annaba, Algérie, 152 p.
- Lutomsky J, 1983.** Inhalts und Wirkstoffe des Alliums arten. 1^{ste} Allium Konferenz. Freizing. 19-23 Juli 1983, p 164-187.
- MAGE, 2007.** Les bassins d'infiltration percolation. Élément de diagnostic. Tome 4. Étude MAGE (Mission Départementale de la Gestion de l'Eau), Le conseil général de la Loire, 20 p.
- Makni H., Trad M., Got P., Trousselliei M, 2002.** Étude de l'évolution simultanée des abondances des germes tests de contamination fécale des Salmonelles et des Pseudomonas dans différents ouvrages épurateurs. *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management* 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002), p 608-608.
- Mara DD., Cairncross S, 1989.** Guideline for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture, OMS et PNUE, Genève, 202 p.
- Maziliak P, 1982.** Physiologie végétale croissance et développement, Ed. Herman, 461 p.
- Meddi M, 2003.** Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. *Hydrology of die Mediterranean and Semiarid Regions*. (Proceedings of an international symposium held - Montpellier, April 2003) 278, 229- 235.
- Medjelekh D, 1996.** Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma. Mémoire de Magister. Université de Constantine, Algérie, 303 p.
- Medkour M, 2002.** Réutilisation des eaux usées épurées. Forum de la gestion de la demande en eau : Réutilisation des eaux usées, 26 et 27 Mars 2002, Rabat, 11 p.

- Meloni DA., Gulotta MR., Martinez CA., Oliva MA, 2004.** The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. Braz.J.Plant.Physiol 16(1), 8p.
- Messiaen CH, 1993.** Les Alliums alimentaires reproduits par voie végétative. Edition Quae, France, 228 p
- Milane MT., Sgherri C., Clijsters H., Narari-Izzo F, 2003.** Antioxidative reponses of wheat treated with realistic concentration of cadmium. Environmental and experimental Botany 50(3), 265-276.
- Mittler R, 2002.** Oxidative stress, antioxydants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7(9), 405-410.
- Mohammad Rusan MJ., Hinnawi S., Rousan L, 2007,** Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination 215, 143–152.
- Monneveux P., Nemmar M, 1986.** Contributions à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) : Étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie 6, 583-590.
- Mouassa S, 2006.** Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols. Mémoire de Magister, Université de Annaba, Algérie, 158 p.
- Mouchara N, 2009.** Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est algérien). Mémoire de Magister, Université de Annaba, Algérie, 123 p.
- Nakano Y., Azada K, 1987.** Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts : Its inactivation in ascorbate depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. Plant Cell Physiol 28, 131-140.
- Nemmar M. 1983.** Contribution à l'étude de la résistance à la sècheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et le blé tendre (*Triticum aestivum*). Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement .Thèse Docteur - Ingénieur sciences économique ENSAM .142 pp.
- Noctor G., Foyer CH, 1998.** Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol 49, 249–279.
- Noctor G., Foyer CH, 2000.** Homeostasis of adenylate status during photosynthesis in a fluctuating environment. J Exp Bot 51, 347-356.

- Nouar T, 2007.** Impacts de la pollution sur les eaux superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de Doctorat, Université de Annaba, Algérie, 178 p.
- OMS, 1973.** La réutilisation des effluents : méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection sanitaire. Série de rapports techniques de l'OMS. N° 517, 68 p.
- OMS, 1989.** L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : Recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Série de rapports techniques N° 778, Genève, 82 p.
- ONA, 2011.** Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Office National de l'Assainissement, Algérie, 64
- ONID, 2009.** Bilan annuel de l'Office National de l'Irrigation et du Drainage, Algérie, 169 p.
- ONS (Office National des Statistiques), 2011.** Recensement général de la population et de l'habitat. Armature urbaine. Collections Statistiques n° 163/2011, Algérie, 213 p.
- Ouanouki B., Abdellaoui N., Ait Abdallah N, 2009.** Application in agriculture of Treated wastewater and sludge from a treatment station. European Journal of Scientific Research 27 (4), 602-619.
- Parry G, 1982.** Le cotonnier et ses produits. Coll. Technique agricole et production tropicale, Maisonneuve & Larose, Paris, 502 p.
- Payment P., Hartemann, P, 1998.** Les contaminants de l'eau et leurs effets sur la santé. Revue des Sciences de l'Eau 11, 199-210.
- Peirce JJ., Vesilind PA., Weiner RF, 1997.** Environmental pollution and control, 4th Ed. Elsevier Science & Technology, 379 p.
- Petersen Shay K., Moreau RF., Smith EJ., Hagen TM, 2008.** Is alpha-lipoic acid a scavenger of reactive oxygen species in vivo? Evidence for its initiation of stress signaling pathways that promote endogenous antioxidant capacity. IUBMB Life 60(6), 362-367.
- Pflugnacher S., Geissler K., Steinberg C, 1997.** Activity of phase I and phase II Detoxification enzymes in different comus parts of *Phragmites australis*. Ecotoxicologie and Environnement Safety 42, 62-66.
- Piquears A., Almos E., Martinez F., Solano GR., Halen E, 1999.** Cadmium induced oxidative burst in tobacco by 2 cells : Time course, subcellular location and anti oxidant response. Free research (31), 33-38.

- Prasad MNV, 1995a.** Cadmium toxicity and tolerance in vascular plant. *Environmental and experimental botany* 35(4), 525-545.
- Prasad TK., Anderson MD., Stewart CR, 1995b.** Localization and characterization of peroxidases in the mitochondria of chilling-acclimated maize seedlings. *Plant physiology* 108, 1597-1605.
- Protensko DC., Schimatiko G., Rubanyuk EA, 1968.** Drought hardiness of winter wheat varieties as related to their amino-acid composition. *Fiziol. Rast* 15, 680-687.
- Rather G, 1984.** Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust. J.Plant Physiol* 11, 491-495.
- Rejsek F, 2002.** Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique, Ed CRDP d'Aquitaine, France, 358 p.
- Rey C., Stahl J., Antonin P., Neury G, 1974.** Stades repères de l'oignon de semis. *Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture* 6(3), 101-104.
- Rhoades JD, 1977.** Potential of using saline agricultural drainage for irrigation. In: *Proc. Water management for irrigation and drainage*. ASAE, Reno, Nevada, July 1977, 85-116.
- Richard C, 1996.** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Collection « Option bio », Edition scientifique et médicales Elsevier, Paris, France, 115 p.
- Richards LA, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *USDA Handbook*, N° 60, 160 p.
- Rodier J, 2005.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer, 8^{ème} Edition, DUNOD, Paris, 1383 p.
- Roméo M., Bebbani N., Gnassia Berelli M., Lafaurie M., Givard JP, 2000.** Cadmium and cooper display different reponse towards oxidative stress in the kidney of the sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquat Toxicol* 48, 185-194.
- Salsac L., Chaillou S, 1984.** Nutrition azotée des végétaux : Importance physiologique et écologique de la fourniture d'azote sous forme nitrique ou ammoniacal. *Bull. Soc. Écophysiol* 9, 111-128.
- Sanmartin M., Pateraki I., Chatzopoulou F., Kanellis AK, 2007.** Differential expression of the ascorbate oxidase multigene family during fruit development and in response to stress. *Planta* 225(4), 873-885.

- Sbartai H, 2008.** Étude des effets du cadmium sur la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) : Essai in vivo et in vitro. Thèse de Doctorat, Université de Annaba, Algérie, 115 p.
- Schiels R., Burnett W, 1960.** Determination of protein bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. Anal. Chem 32, 885 -886.
- Schwartzbrod L, 2000.** Virus humains et santé publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture et conchyliculture. Centre collaborateur OMS pour les micro-organismes dans les eaux usées, Université de Nancy, France, 292 p.
- Servais P., Barillier A., Garnier J, 1995.** Determination of the biodegradable fraction of dissolved and particulate organic carbon in waters. Annales de Limnologie 31(1), 75-80.
- Servais P., Garnier J., Demarteau N., Brion N., Billen G, 1999.** Supply of organic matter and bacteria to aquatic ecosystems through waste water effluents. Water Research 33, 3521-3531.
- Shah K., Dubey RS, 1998.** Effect of cadmium on proline accumulation and ribonuclease activity in rice seeding: Role of proline as a possible enzyme protectant. Biol. Plant 40, 121-130.
- Shigeoka S., Ishikawa T., Tamoi M., Miyagawa Y., Takeda T., Yabuta Y., Toshimura K, 2002.** Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. Journal of Experimental Botany 53, 1305-1319.
- Shraddha S., Sarita S., Rohit S., Kavita P., Kavita B, 2004.** Translocation of metals and its effects in the tomato plants grow on various amendments of tannery waste: Evidence for involvement of antioxydants. Chemosphere 57, 91-99
- Sies H, 1991.** Oxidative stress : Oxidants and antioxidants. Academic Press, San Diego, CA. Oxidative stress: Introduction, 15-22.
- Silué S., Fondio L., Coulibaly MY., Magein H, 2003.** Sélection de variétés d'oignon (*Allium cepa* L.) adaptées au nord de la Côte d'Ivoire. Tropicultura 21(3), 129-134.
- Sivaramakrishnan S., V.Pattel, G.Flower and. Paleg LG, 1988.** Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid season drought stress. Plant Physiol 74, 418-426.
- Skiredje A, 2005.** Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Département d'Horticulture, Maroc, 10 p.

- Smeets K., Cuypers A., Lambrechts A., Semaine B., Hoet P., Van Laere A., Vangrosveld J, 2005.** Induction of oxidative stress and antioxidative mechanisms in *Phaseolus vulgaris* after Cd application. *Plant Physiology and Biochemistry* 43, 437-444.
- Solt JP., Sneller FEC., Bryngelsson T., Lundborg T., Scht H, 2003.** Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and experimental botany* 49, 21-28.
- STEP Guelma, 2012.** Mise en marche de la station d'épuration de Guelma. Office National de l'Assainissement. Rapport N°3. 19 p.
- Stoianova IB., Tzutzulova A., Caputto R, 1980.** On the hydrocarbon and Sterol composition in the scales and fleshy part of *Allium sativum*. *Rivista Italiana EPPOS* 7, 373-376.
- Tahlil N., Rada A., El Gharmali A., Baaziz M., El Meray M, 2003.** Use of peroxidase activity in leaves and roots of toxicity of soil contaminated by the spread of urban wastes. *Agrochimica* 47(4), 241-247.
- Tahri E H., Belabed A., Sadki K, 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l'Institut Scientifique* 21, 81-87.
- Tamrabet L, 2011.** Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de Doctorat, Université de Batna, Algérie, 146 p.
- Taylor NL., Heazlewood JL., Day DA., Millar AH, 2004.** Lipoic acid-dependent oxidative catabolism of alpha-keto acids in mitochondria provides evidence for branched-chain amino acid catabolism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 134(2), 838-848.
- Trad Ra s M, 2009.** Valorisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de complément de l'olivier (*Olea europaea* L.) : Effets sur les comportements végétatif et productif de l'arbre et sur la qualité sanitaire des fruits. Symposium international « AGDUMED », Rabat, Maroc 14-16 mai 2009, 142-155.
- Troll W., Lindsley J, 1955.** A photometric method for determination of proline. *J. Biol Chem* 215, 655-660.
- USSLS, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, Handbook N° 60, 160 p.
- Van Der Meer QP, 1993.** *Allium cepa* L. cv. Groupe Common Onion. In: Siemonsma J.S., Kasem Piluek, 1993. *Plant resources of South-East Asia*. Pudoc Scientific publishers 8, 68-71.
- Van Gestel CAM., Van Brumelen TC, 1996.** Incorporation of the biomarker concept in ecotoxicology calls for a redefinition of terms. *Ecotoxicology* 5, 217-225.

Vandenhove H., Cuypers A., Van Hees M., Koppen G., Wannijn J, 2006. Oxidative stress reactions induced in beans (*Phaseolus vulgaris*) following exposure to uranium. Plant Physiology and Biochemistry 44, 11-12.

Verma S., Dubey RS, 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Science 164, 645-655.

Vila JM, 1980. La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 665 p.

Xanthoulis D, 1993. Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau. Ed. CEBEDOC 3, 27-32.

Xanthoulis D, 2011. Réutilisation des eaux usées en agriculture. Gestion intégrée des ressources en eau, Activité -02.04, Colloques et Journées thématiques, 3 p.

Xanthoulis D., Rejeb S., Chenini F., Khelil MN., Frankinet M., Destain JP, 2002. Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation, l'INRGREF, 74 p.

Zhu Z., Wei G., Li J., Qian Q., Yu J, 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science 167, 527-533.

Zid E., Grignon C, 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas de stress salin et hydrique pour l'adaptation aux milieux arides. Amel. Plant 5, 91-108.

Zienk NH, 1996. Heavy metal detoxification in higher plant. Review-gene 179, 21-30.

Zlatev ZS., Lidon FC., Ramalho JC., Yordanov IT, 2006. Comparison of resistance to drought of three bean cultivars. Biol. Plant 50, 389-394.

Zouaidia H, 2006. Bilan des incendies de forêts dans l'Est Algérien : Cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahres, Mémoire de Magister, Université de Constantine, Algérie, 135 p.

Sites WEB

<http://www.faostat.fao.org>

<http://www.iso.org/iso/home.html>

<http://ona-dz.org/>

<http://www.who.int/en/>

<http://www.meteociel.fr/>