République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABBES LAGHROUR- Khenchela

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de :

Master Académique

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie Appliquée

Thème

Réponse physiologique et biochimique des plantes d'intérêt économique cultivées sur un sol amendée avec des boues d'épuration des eaux usées ''Cas de la tomate industrielle Rio grande (Solanum lycopersicum L.)''

Présenté par : ***Rais Redwan***

Soutenu le : 07/07/2019

Devant le jury :

Présidente : Mme. HALASSI Ismahan	**MCB**	**Université ABBES LAGHROUR–Khenchela**
Examinateur : Mr. Labaal Salim	**MCB**	**Université ABBES LAGHROUR–Khenchela**
Promoteur : Mr. Elafri Ali	**MCB**	**Université ABBES LAGHROUR–Khenchela**
Co-promoteur Mr. Charchar Nabil		**Centre De Recherche En Biotechnologie, Constantine**

Année universitaire 2018-2019

Remerciements

Remerciements

J’ai effectue ce travail de thèse grâce a l’aide et au soutien de nombreuses personnes auxquelles je souhaite adresser tous mes remerciements.

Je tiens tout d’abord à remercier **Dr. Elafri Ali**, mon directeur de thèse (Biochimie appliquéve) pour m’avoir fait confiance tout au long de ce travail : merci pour cette liberté de travail que tu m’as donnée. J’ai apprécie ta disponibilité malgré tes nombreuses responsabilités, j’ai admire ton savoir encyclopédique, ton esprit de synthèse lorsque j’arrivais dans ton bureau avec une quantité astronomique de données, ainsi que ta sérénité a toute épreuve ! Merci Ali !

Un grand merci a **Dr. Charchar Nabil,** du Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine (CRBT), mon Co-directeur de these. Tu m’as guidé, conseillé et soutenue au quotidien, y compris les week-ends, vacances, jours des enfants…et tu as toujours su me remotiver quand le besoin se faisait sentir. Merci Nabil pour ton investissement ayant largement participe a l’aboutissement de ce travail !

Enfin je tien a remercie chaleureusement les Jury **Dr. Labaal Salim** et Dr. **Halassi Ismahen** d’avoir accepté d’examiner ce modeste travail.

Merci a tous

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Sommaire

Introduction ……..1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1- Généralité sur les eaux usées ……04

1.1. Définition des eaux usées……..04

1.2 . Les procédés de traitement des eaux usées ……04

1.2.1. Prétraitement de l'eau……..04

1.2.1.1. Dégrillage et tamisage ……04

1.2.1.2. Le dessablage :……05

1.2.1.3. Le dégraissage ……05

1.2.2. Le traitement primaire ……..……05

1.2.2.1. La décantation ……...…..05

1.2.2.2. La filtration ……06

1.2.2.3. La flottation ……6

1.2.3. Les traitements « secondaires », l'élimination biologique des matières polluantes …….06

1.2.3.1. Les traitements biologiques ……06

1.2.4. Traitement des boues ……07

1.2.4.1. Traitement de stabilisation ……08

1.2.4.3. Stabilisation biologique ……..……08

1.2.4.4. Le compostage ……..…..……09

1.2.4.4.1. La stabilisation chimique……..09

1.2.4.4.2. Le séchage thermique ……10

1.2.4.5. Réduction de la teneur en eau des boues……..……10

1.2.4.5.1. L'épaississement……...10

1.2.4.5.2. La déshydratation ……11

1.2.4.3. Les traitements d'hygiénisations……12

1.2.5. Valorisation agricole des boues d'épuration ……12

- L'utilisation agricole des boues ……12

CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

1. Materiel ……...14

1.1. Le sol ……...14

1.2. Les boues ……...15

1.3. Le matériel végétal…… 15

- Origine……..16
- Description morphologique……16
- Intérêt économique…….. 17
- Intérêt nutritionnel……18

2. Méthodes……..19

2.1. Protocole expérimenta……...19

3. Paramètres physiologiqu……...19

3.1. Le taux de germination des graines……19

3.2. Mesures des paramètres de croissance……...20

3.2.1. Poids frais (Pf) ……20

3.2.2. Poids secs (Ps) ……20

3.2.3. La matière sèche……..20

3.2.4. La teneur en eau (TE) ……20

3.2.5. Dosage des pigments chlorophylliens……..……20

4. Paramètres biochimiques……..……21

4.1. Dosage des protéines totales……21

4.1.1. Préparation du réactif de Bradford……21

4.2. Dosage de la proline……...22

4.3. Dosage des sucres totaux……...22

4.4. Dosage du Malondialdéhyde (MDA) ……...23

5. Analyses physico-chimiques ses sols et des boues……...23

5.1. Mesure de la conductivité électrique……...23

5.2. Mesure de pH……...24

5.3. Dosage de La matière organique (méthode de walkly-blak modifiée) ……....25

5.4.2. La matière organique……..……...26

5.4.3. Dosage du calcaire total…….……...26

5.4.4. Dosage du phosphore (Méthode de Olsen et sommer) …….……...27

Chapitre 3 : Résultats et discussion

I. Caractérisation physico-chimique de sol……...30

1- Mesure de pH……...30

2- La conductivité électrique……..……...31

3- La matière organique et le carbone organique…….……....31

4- Le phosphore assimilable…….……31

5- L'azote total…….....32

II. Effets des boues sur le développement des plantes de la tomate Rio Grande…….....32

1- Paramètres physio- morphologiques …….……....32

1-1- Le taux de germination …….……...32

1-2- Autres paramètres physio- morphologiques……..……... 32

2- Paramètres Biochimique……... 34

2-1- La teneur en proline ……...…...34

2-2- Teneurs en chlorophylle…….……... 35

- Chlorophylle a……...……35
- Chlorophylle b……...35

2-3- Sucres totaux……...……...37

2-4- Les protéines totales……...38

Conclusion ……..…..40

Références bibliographiques ……..…41

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration	**07**
Figure 2	Situation géographique de la localité Salah Soufi, Commune de Belkhir, Wilaya de Guelma	**14**
Figure 3	Diagramme climatique de la wilaya de Guelma	**15**
Figure 4	Photo de la Graine de Tomate de Rio Grande utilisées	**17**
Figure 5	**C**ycle de vie de la tomate.	**17**
Figure 6	Composants de la tomate.	**18**
Figure 7	Image de dispositif expérimental de l'essai.	**19**
Figure 8	Certains paramètres physio- morphologiques (**A** : poids sec, poids frais, **B** : Matière sècheet **C** : teneur en eau) des plantes de la tomate Rio Gran de cultivée dans un sol amendé :	**33**
Figure 9	L'effet des boues sur la teneur en proline**.**	**34**
Figure 10	L'effet des boues sur la teneur en chlorophylle	**35**
Figure 11	L'effet des boues sur la teneur en chlorophylle B.	**36**
Figure 12	L'effet des boues sur la teneur en sucres totaux.	**37**
Figure 13	L'effet des boues sur la teneur en protéines totales	**39**

Liste des Tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	Relevés de la station météorologique d'El Bey dans la commune de Guelma (période : 1986-2016)	**14**
Tableau 2	Résultats des analyses physico-chimiques du sol et de la boue	**30**
Tableau 3	Taux de germination comparative entre les différents essais	

Résumé

Résumé

La valorisation des boues d'épuration dans l'agriculture est assez répandue dans le monde. Leur teneur en azote et en phosphore ainsi qu'en matière organique augment le pouvoir fertilisant du sol et ce qui influence par conséquence la croissance et le développement des végétaux. L'objectif de ce travail consiste à évaluer l'influence du sol amendée par des boues résiduaires sur les caractéristiques biochimique et physio-morphologique d'une plante maraichère, la tomate industriel variété (Rio Grande) cultivées dans la localiteé de Salah soufi, commune de Belkhir wilaya de Guelma, nord-est de l'Algérie. Les essais en pots contenant le sol de Salah soufi, amendé avec de boues d'épuration de la STEP de Guelma à différentes concentrations et cultivé par la Rio grande à une durée de 60 jours, nous a permet d'obtenir les résultats suivants. Le sol utilisé dans le cadre de cette étude présente une texture pauvre en matière organique et en azote (N = 2,09 ± 0,3 mg/kg), caractérisé par un pH légèrement alcalin (pH = 7,4 ± 0,08) et une teneur plus au moins faible en phosphore (12,62 ±0,43 mg/kg). Par ailleurs, les boues résiduaires ont montré une richesse remarquent en matière organique, en azote (20,58±0 mg/kg). Les essais conduisent en pots, nous ont permis de mettre en évidence un effet net de l'apport des boues sur le développement végétatif de la tomate Rio grande. Notamment, une accumulation de la proline plus élevée en T3 (8µg/gMF) et en T2 (3µg/gMF) par rapport au T1 et au témoin T0. Aussi, les essais amendés par les boues montrent des teneurs en protéines totales très élevés par apport au témoin surtout pour la partie aérienne de la tomate. La variation des paramètres morphologiques, à savoir la longueur, les poids frais et secs, la MS des parties aériennes et racinaires sont relativement significatives.

Malgré l'amélioration de quelques paramètres de nutrition minérale de la plante, notre étude reste incomplète. En effet, la période de l'essai n'est pas suffisante pour apprécier l'influence de boues sur les paramètres de rendement de la culture et sur certaines propriétés physiques des sols.

Abstract

The valorisation of sewage sludge in agriculture is quite widespread around the world. Their Nitrogen and Phosphorus content as well as organic matter increase the fertilizing power of the soil and consequently influence the growth and development of plants. The objective of this work is to evaluate the influence of soil amended by residual sludge on the biochemical and physio-morphological characteristics of a vegetable garden, the industrial tomato variety (Rio Grande) grown in the locality of Salah Soufi, city of Belkhir Wilaya of Guelma, northeastern Algeria. Potted trials containing soil of Salah Sufi, amended with sewage sludge from the wastewater treatment station of Guelma at different concentrations and grown by the Rio Grande for a period of 60 days, allowed us to obtain the following results. The soil used in this study has a texture that is low in organic matter and nitrogen (N = 2.09 ± 0.3 mg / kg), characterized by a slightly alkaline pH (pH = 7.4 ± 0.08) and a less low content of phosphorus (12.62 ± 0.43 mg / kg). In addition, the residual sludge showed a remarkable richness in organic matter, and in nitrogen (20.58 ± 0 mg / kg). The trials conducted in pots, allowed us to highlight a net effect of the contribution of sludge on the vegetative development of Rio Grande tomato. In particular, a higher Proline accumulation in T3 (8 µg / gMF) and in T2 (3 µg / gMF) compared to T1, and the control T0. Also, the tests amended by the sludge show very high total protein contents by addition to the control especially for the aerial part of the tomato. Variation in morphological parameters, namely length, fresh and dry weights, DM of the aerial and root parts are relatively significant.

Despite the improvement of some parameters of mineral nutrition of the plant, our study remains incomplete. Indeed, the period of the test is not sufficient to assess the influence of sludge on the yield parameters of the crop and on certain physical properties of the soil.

ملخص

أن استخدام الحمأة في الزراعة عرف انتشارا واسع في العالم. احتواؤها على عدة عناصر على غرار النيتروجين والفوسفور فضلا عن المواد العضوية يساعد على زيادة تسميد التربة، وبالتالي ما يؤثر ايجابا على نمو وتطور النباتات. إن الهدف من هذا العمل هو تقييم تأثير التربة المستصلحة بواسطة حمأة مياه الصرف الصحي على الخصائص الحيوية والفيزيولوجية و المورفولوجية ، للطماطم الصناعية نوع (ريو غراندي) و المزروعة في قرية صالح سوفي التابعة لبلدية بلخير و لاية قالمة، شمال شرق الجزائر. أن الاختبارات التي قمنا بها على التربة و على حمأة مياه الصرف الصحي المستخرجة من محطة معالجة مياه الصرف لولاية قالمة و القياسات المتحصل عليها خلال 60 يوما من مراقبتنا لنمو هذه العينات من الطماطم الصناعية سمح لنا بالحصول على النتائج التالية :

التربة المستخدمة في هذه الدراسة لديها نسيج هش وتعاني من فقر حاد في المواد العضوية والنيتروجين 2,9 ملغ/كلغ من الازوت كما تتميز بحموضة قلوية 7,4 درجة الحموضة. أما بخصوص الحماة فقد اضهرت التحاليل انها جد غنية بالمواد العضوية و الازوت العضوي مع نسبة اقل من احتوائها على الفوسفور. و اضهرت كذالك مختلف التحاليل التي قمنا بها على الطماطم الصناعية الخاضعة لهذه التجربة ان العينات المغروسة في التربة المختلطة بنسب متفاوتة من حماة مياه الصرف الصحي مختلفة نوعا ما مقارنة ببقية العينات الشاهد. خاصة في ما يتعلق في نسب احتوائها على البرولين و البروتينات فالشاهد يحتوي على نسب ضعيفة من هذين العنصرين مقارنة ببقية العينات. فيما يخص بقة القياسات و على وجه التحديد مختلف الخصائص المرفولوجية و الفيزيولوجية و كذلك بعض العناصر البيوكيمائية فاننا لم نسجل فروقات معتبرة بين الشواهد و العينات المستصلحة.

على الرغم من التحسن الملحوض في بعض العناصر البيوكيميائية للنباتات المزروعة في التربة المستصلحة الا ان هذه الدراسة تعتبر منقوصة نوعا ما حيث ان فترة الدراسة قصيرة مما ادى الى عدم قدرتنا على تقييم هذه التاثيرات على مردودية الانتاج و كذلك عدم تمكننا من قياس بعض الخصائص البيوكيميائية المهمة كذلك مثل الانزيمات و غيرها.

Introduction

La valorisation des boues d'épuration dans l'agriculture est assez répandue dans le monde. Elles ont toujours suscité un intérêt auprès des agriculteurs du fait de leurs propriétés agronomiques en particulier leur teneur en azote et en phosphore (**Lassoued et al., 2013; Buffet, 2010**). De plus, comme amendement organique, les boues contribuent à équilibrer le bilan humique du sol. Elles améliorent la structure, les propriétés hydrodynamiques et l'activité biologique du sol. Sur le plan économique, l'épandage agricole est l'une des filières d'élimination les moins chères disponibles. (**INRS-Eau, 1996; Buffet, 2010; ONAS, 2015**). Actuellement, l'épandage agricole concerne 40% des boues produites en Europe. Parmi les pays de l'Union Européenne qui valorisent le plus en agriculture leurs boues d'épuration, on trouve la France avec 70% de sa production suivie par le Royaume Uni et l'Espagne qui recyclent respectivement 66% et 65% des boues produites par les stations de traitement des eaux usées (**Buffet, 2010**).

En Algérie, et depuis plusieurs années des chercheurs Algériens se penchent sur le moyen d'utiliser les boues résiduelles des stations d'épuration pour fertiliser les champs. Il apparaît que ces boues constituent un moyen puissant d'augmenter les rendements. Mieux, de nouveaux travaux montrent qu'elles pourraient permettre de revitaliser des sols en zone aride. Selon l'ONA (office national d'assainissement), une boue de station d'épuration désigne l'ensemble des résidus de l'activité biologique des micro-organismes vivant dans les stations d'épuration, qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites. Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique. Cet office produit des quantités croissantes de boues. Seulement 25% des boues sont utilisées en agriculture ; 60% sont mises en décharge (**BELAID, 2013**).

Dès 1991, des universitaires algériens, ont mené avec succès des essais à Barika. Ils ont utilisé les boues résiduaires du complexe Ecotex pour des cultures de tomates et de laitues sous serre (**BELAID, 2013**). Au niveau national, des agriculteurs qui font du maraichage se sont assez vite intéressés à ces boues et ont vite compris leur intérêt agronomique.

En 2002, une équipe de chercheurs de l'Université de Constantine, a eu l'idée d'étudier l'effet des boues résiduelles en grande culture. Pour ce faire, ils ont testé l'emploi de ces boues sur l'avoine et l'orge. Les essais se sont révélés concluants. Les parcelles recevant des boues ont présenté une meilleure quantité de matière sèche (**Boumediene, 2010**).

Récemment, le département agronomie de l'université de Batna a poursuivi ces investigations. Une jeune chercheuse a mis en place un essai. L'étude a porté sur les boues résiduelles de la station d'Aïn Sfiha (Sétif) et a été menée à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures. Du blé dur a été cultivé sur des parcelles expérimentales ayant reçues des doses de 20, 30 ou 40 tonnes de/hectare. Des parcelles témoins n'ont rien reçu (**Belaid, 2013**).

A la récolte, les rendements ont été sans équivoque: les parcelles ayant reçue des boues résiduelles ont présentées un rendement de 34 quintaux contre seulement 14 quintaux pour les parcelles témoins (sans apport).

Ce rendement a été expliqué par la faculté qu'ont eue les plantes des parcelles amendées à produire 6000 grains par mètre carré contre seulement 3000 grains pour les parcelles témoins. On aurait pu craindre que ces grains en plus grand nombre soient plus petits. Mais il n'en est rien. Après la récolte, des lots de grains ont été soigneusement pesés. Et aussi extraordinaire que cela puisse paraître les plants de blé amendés avec de la boue ont présenté, pour 1000 grains pesés, un poids de 52 grammes contre seulement 46 grammes pour les parcelles témoins. Cela signifie, qu'en juin, lors de la phase de remplissage des grains, les plants des parcelles amendées ont disposé de plus d'eau que les parcelles témoins. Eau qui a permis de faire passer les sucres fabriqués par les feuilles vers les grains (**ATI, 2010**).

Ne se contentant pas de ce seul constat, la jeune agronome a analysé la structure et la composition du sol de chaque parcelle. Et il est apparu que les sols amendés avec les boues présentaient une meilleure porosité ainsi qu'un meilleur taux de matières organiques. Or, ces deux paramètres contribuent à la rétention d'eau par le sol (**ATI, 2010**).

Problématique

La quantité croissante de boues produites au cours du traitement des eaux usées pose d’énorme problème de leur devenir.

L'utilisation des boues d'épuration en agriculture est une pratique mondiale, qui permet une élimination éfficace des boues et le recyclage de la matière organique et de nombreux éléments nutritifs. Malgré leur apport fertilisant (N, P, K, Ca, etc.), les boues urbaines ne peuvent être épandues si elles contiennent des métaux lourds en quantité supérieure aux normes autorisées en agriculture (Arrêté du 8 janvier 1998 / France), qui pourraient entrainer une contamination des sols et par là de la chaine alimentaire et de la santé humaine. S'il est prouvé que l'épandage des boues favorise la productivité des cultures, elle s'accompagne d'une accumulation de métaux lourds (Cd, Cu, Ni, Pb et Zn) [2,12], comme chez le Ray-grass [6,8]. Ces boues doivent alors être incinérées, mises en décharge ou utilisées en partie dans une filière de compostage.

Les objectifs scientifiques de ce mémoire étaient multiples

- Etude des caractéristiques physico-chimiques des boues de la station d'épuration de la ville de Guelma.
- Etude de l'effet des boues d'épuration sur les caractères physiologique et biochimique d'une variété de tomate (Rio Grande) cultivées en Algérie.
- Mieux comprendre quels processus biochimique et physiologiques etaient sous-jacents a un stress abiotique
- Valoriser des boues d'épuration et les utiliser comme un bio- fertilisant en agriculture.

  Ce travail (la partie pratique) s'est realisé au sein du centre de recherche en biotechnologie de constanatine, Algerie.

Ce manuscrit est organise en trois chapitres

Le chapitre I est une breve synthese bibliographique presentant, dans un premier temps, des generalites sur les eaux usée et le processus de l'epuration de ces eaux. Puis la deuxieme partie fait le point sur la valorisation agricole des residus issue de l'epuration des eaux usees (les boues)

Le chapitre II presente de manière détaillé le materiel vegetal experimente, le sol utiliseée et la boues d'ammendement appliquée ainsi que les differentes méthodes utilisees d'analyse morpho-physiologiques et biochimiques au cours de la these.

Le chapitre III presente d'une façon détaillé toutes les résultats obtenues ainsi une déscussion objective pour chque résultat.

Enfin le maniscrut a été cloturé par une conclusion et certains perspectives de recherches**.**

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. Généralité sur les eaux usées :

En Algérie, une famille de quatre personnes consomme en moyenne 150 m^3 d'eau par an. L'eau usée contient divers polluants organiques et biologiques. Le rejet des eaux usées directement dans la nature ou après un traitement insuffisant peut donc avoir impact négatif sur l'environnement et potentiellement sur les hommes. D'où l'importance du traitement des eaux usées et de ses sous-produits.

1.1. Définition des eaux usées:

Les eaux usées sont les eaux résiduaires d'une industrie ou d'une communauté, qui sont destinées à être rejetées après usage. Elles sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et qui sont devenues impropres à d'autres utilisations de qualité. Les eaux usées, étant polluées par l'usage qui en a été fait, ne doivent pas être rejetées en masse dans le milieu naturel avant d'avoir été traitées en vue de l'élimination des polluants indésirables par passage dans une station d'épuration **(FAO, 2017)**

1.2 . Les procédés de traitement des eaux usées :

Généralement, le traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration comporte quatre étapes successives **(Amorce, 2012).**

1.2.1. Prétraitement de l'eau :

Les prétraitements des eaux usées sont indispensables dans toutes les stations d'épuration quelque soit le processus mis en œuvre en avale. Le prétraitement consiste à éliminer les matières susceptibles de gêner l'exploitation du réseau d'égouts de la station **(Koller, 2004).**

1.2.1.1. Dégrillage et tamisage :

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux retiennent les matières les plus volumineuses **(Bram, 1986),** ou de tamis rotatifs qui retiennent les éléments les plus volumineux (morceaux de bois, plastiques, objets divers, etc.)**(Guy, 2003)**. Le tamisage peut compléter cette phase de prétraitement.L'eau qui est issue de ce premier traitement subit ensuite le dessablage et le déshuilage-dégraissage.

1.2.1.2. Le dessablage :

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. La vitesse d'écoulement de l'eau est ralentie, des particules de taille alors plus petite vont sédimenter (boues primaires). Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage**.(Morel, 1977).**

1.2.1.3. Le dégraissage :

Le dégraissage vise à éliminer la présence de graisses dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. Le dégraissage s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses sont raclées à la surface, puis éliminées (mise en décharge ou incinération**.(Degrement,1978).**

1.2.2. Le traitement primaire :

Les eaux prétraitées sont additionnées de réactifs chimiques, floculants ou coagulants (polyelectrolytes, chaux….) qui agglomèrent les particules solides sous formes de flocons décantables, une décantation sépare ensuite l'eau et les boues (**Sbih, 1990**). Les traitements physico-chimiques permettent d'agglomérer ces particules par adjonction d'agents coagulants et floculants (sels de fer ou d'alumine, chaux...).

Les amas de particules ainsi formés, ou "flocs", peuvent être séparés de l'eau par décantation ou par flottation

1.2.2.1. La décantation :

Elle permet une séparation de deux phases, liquide- solide ou liquide -liquide, par simple gravité, elle dépend à la fin des propriétés des particules et du régime hydraulique **(Thomazeau,1981).**

Dans la plupart des stations d'épuration on effectue deux décantations, l'une sur les eaux usées du prétraitement, l'autre après le traitement biologique, les boues formées contiennent une forte proportion de matière organique (20 à 30%de matière sèche), des matières graisses (6 à 8 %) et de la cellulose (8 à 15%). **(Kormanik, 1990).**

1.2.2.2. La filtration :

Elle a pour but essentiel la clarification finale d'une eau **(Thomazeau, 1981).** La filtration peut effectuer sur les eau brutes prétraitées puis sur les eaux traitées par voie biologique ou chimique, néanmoins la forte teneur en matière colloïdales et mucilage des eaux brutes rend difficile leur filtration sauf pour des filtre dont les mailles sont assez larges, de l'ordre de dixième de millimètres, ce qui est peu intéressant, par contre ce procédé est largement utilisé pour le traitement des boues (**Duchene, 1990).**

1.2.2.3. La flottation :

Elle se passe dans les conditions où la masse volumique des particules est inférieure à celle du milieu. On les élimine par flottaison avec ou sans adjonction de polymères. De fines bulles d'air sont injectées à la base du bassin pour favoriser la remontée des boues et ces dernières sont éliminées par un raclage de surface **(Mahma Sid –Ali, 1995).**

1.2.3. Les traitements « secondaires », l'élimination biologique des matières polluantes :

1.2.3.1. Les traitements biologiques :

Dans cette opération, les microorganismes sont la base du traitement par l'utilisation des composés organiques comme substrat nutritif (Vedry, 1975). Il s'agit de réduire la charge en matière organique de l'eau usée par des micro-organismes regroupés en « flocs » et production de boues dites « activées ». Cette phase nécessite une aération conséquente. Les eaux usées décantées sont aérées par des turbines agissant sur la surface de l'eau ou par des rampes d'air comprimé ou d'oxygène au fond d'un bassin. Après ce traitement, les eaux sont à nouveau décantées.

Le traitement biologique permet la biodégradation des matières organiques des eaux usées grâce à des bactéries aérobies ou anaérobies dans des systèmes suivants :

- ***Système intensif*** à cultures fixes telles que les lits bactériens et les disques biologiques ou à cultures libres telles que les boues activées.

- ***Système extensif*** dont le plus répandu et le plus classique est le lagunage surtout dans les pays à climat chaud et où le terrain est disponible à coût raisonnable. Il consiste en un lent écoulement de l'affluent dans un ou plusieurs réservoirs plus ou moins profonds.

Après toutes ces opérations, l'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel, tandis que les boues résiduelles sont collectées puis traitées en vue de leur valorisation ou de leur élimination.

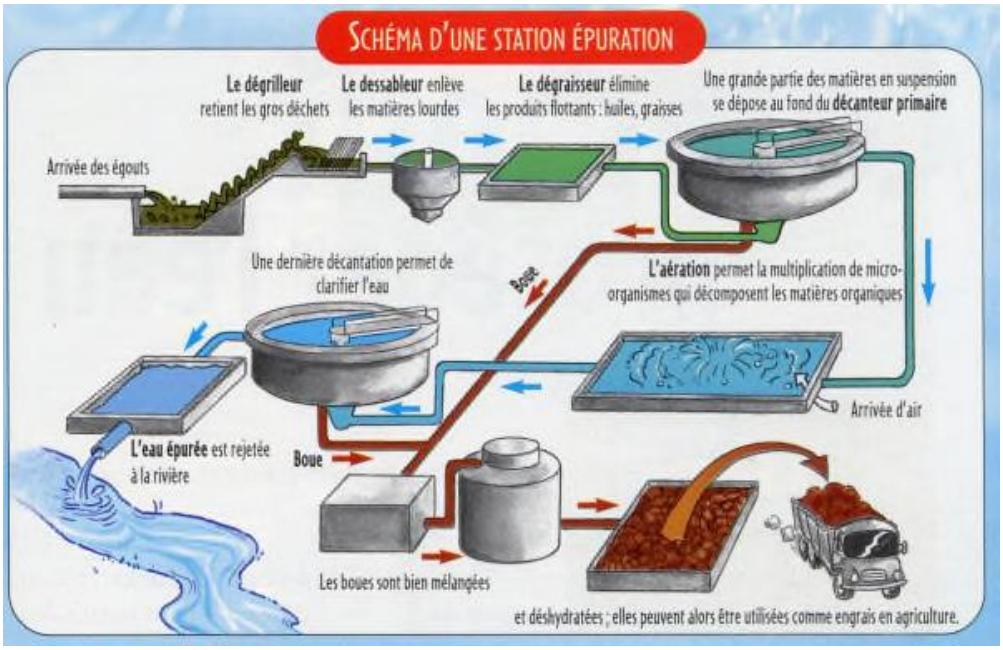


Figure 1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration (**ADEME, 2012**).

1.2.4. Traitement des boues :

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance.

Telle quelle apparaissent au cours du traitement des eaux usées, les boues d'épuration nécessitent un traitement préalable et ce dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction des matières organiques facilement décomposables **(Brame et Lefèvre, 1977).**

On distingue trois grands types de traitement :

1.2.4.1. Traitement de stabilisation :

Ce mode de traitement consiste soit à forcer l'évolution des boues jusqu'à une minéralisation assez poussée c'est la digestion ; soit une interruption de la vie au sein des boues, il s'agit de la stabilisation physico- chimique **(Blondeau, 1985).** La notion de stabilisation renseigne sur le niveau d'odeur de la boue (absence d'odeur, ou odeur faible, moyenne, forte). A noter qu'une boue peut être traitée, tout en n'étant pas stabilisée au sens défini ci-dessus (**circulaire du ministère de l'environnement Française du 16 mars 1999).** Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues afin de réduire leur fermentescibilité, et limité voire annuler, les nuisances olfactives **(Koller, 2004).**

1.2.4.3. Stabilisation biologique :

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. La stabilisation biologique se fait soit par : Voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération, jusqu'à l'obtention des boues à teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable. La consommation d'énergie de ce procédé ne permet pas d'envisager son utilisation de manière systématique pour les boues d'origine urbaines **(Alexandre, 1979)** ; soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane et on obtient des boues « digérées », encore appelées « Anaérobies » ou « stabilisées anaérobies ».

La digestion anaérobie se pratique dans environ 200 stations d'épuration en France. Pour maintenir l'activité biologique de la station à un bon niveau, une partie de la masse des bactéries ou « biomasse en excès » doit être prélevée soutirée régulièrement, entrants ainsi la dynamique de reproduction bactérienne (**CNB ,2001**).

1.2.4.4. Le compostage :

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage, les boues n'étant pas auto-compostables. Les boues compostées ont un aspect de « terreau » et présentent une structure solide ; elles sont stables. On constate actuellement un fort regain d'intérêt pour cette technique en raison des nouvelles données réglementaires et économiques concernant la gestion des déchets. Le compostage se pratique dans des stations de moyenne taille et ne représente que 2% des tonnages des boues (**O.P.E.C.S.T ; 2001**).

1.2.4.4.1. La stabilisation chimique

Elle bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 12 **(Koller, 2004).** Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique, si la boues sera valoriser **(Gamrasni, in Nakib, 1986).**

Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-presse où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide. La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides. L'inconvénient majeur est le coût de ce traitement, il faut en effet environ 100g de CaO par Kg de matière sèche, pour diminuer les frais, on ajoute souvent du chlorure ferrique qui améliore la floculation des boues et par conséquent, leur aptitude à la décantation ou à la filtration **(Webb, 1984).** Pour être précis, il est utile de souligner que souvent chaulage et compostage se pratiquent sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Ils constituent en quelque sorte un traitement complémentaire de stabilisation. Toutefois, pour des boues primaires ou physico-chimiques, ce sont les uniques modes de stabilisation. D'autres techniques chimiques, basées sur le blocage de l'activité biologique, commencent à être proposées (exemple : procédé de traitement aux nitrites à pH acide).

1.2.4.4.2. Le séchage thermique :

Le séchage thermique des boues revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), persistant aussi longtemps que les boues ne sont pas réhumecté. Le séchage fait intervenir deux techniques :

- soit par action du soleil sur des boues placées sous serre, préalablement déshydratées mécaniquement. Ce procédé concerne surtout les usines d'épuration de petite et moyenne capacité.
- soit par action de la chaleur de manière directe, indirecte ou mixte, selon le type de sécheur. Ce traitement est plutôt réservé aux usines d'épuration de plus grande capacité. **(SPDE, 2006).**

L'intérêt du séchage (réduction des volumes, réduction des odeurs, meilleure manutention) est d'élargir l'éventail des solutions pour les boues et d'en faciliter leur utilisation et l'accès aux filières agronomiques.

1.2.4.5. Réduction de la teneur en eau des boues

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage **(ADEME, 1996).**

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide. Ils utilisent des floculants organiques de synthèse (appelés poly électrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium). Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau. Ce procédé est toutefois rarement utilisé en raison des difficultés d'emploi et d'un coût prohibitif.

1.2.4.5.1. L'épaississement

Vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues. Par conséquent réduire leur volume **(Anred, 1988),** sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue.

Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne et se situe plutôt vers 5 à 6 %. Généralement, les boues épaissies gravitairement ne sont pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3 ou 3,5 %.

Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration, de taille inférieure à 2 000 équivalents habitants. L'épaississement dynamique (ou mécanique) devient plus fréquent pour les stations de taille comprise entre 2 000 et 5 000 équivalents habitants.

Les intérêts de l'épaississement sont multiples.-A capacité égale, augmentation du temps de séjour dans les cuves de stockage des digesteurs aérobie et anaérobies.
-Amélioration de la sécurité d'exploitation, en particulier dans les installations d'eaux résiduaires urbaines, les boues des décanteurs primaires peuvent être pompées très liquide.
-Amélioration de la production des dispositifs de déshydratation, lits de séchage, filtre sous vide, filtre presse, centrifugeuse**, (Degrement, 1972 ; Thomann, 1983).**

1.2.4.5.2. La déshydratation :

Cette technique a pour but l'élimination de la majeur partie de l'eau contenue dans la boues et l'obtention d'un déchet solide facilement manutentionnable et de volume réduit **(Nakib,1986).** On a alors :

- **-Séchage par des procédés mécaniques :** soit par des filtres à bandes et les centrifugeuses

  qui donne des boues plutôt pâteuses en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20% de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25%de siccité

  pour la seconde ; Soit par des filtres presses qui produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteuses et contraignantes d'emploi que les filtres à bande et les centrifugeuses.

- **Séchage sur lit :** se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1 m2 pour 4 à 5 habitants raccordés. Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques .La boue sèche ainsi obtenue est pelletée, elle contient plus de 50% de matière sèche et peu être utilisée pour l'agriculture. Il arrive souvent qu'un début de végétation croisse au cours de séchage (Jamonet, 1987).
- **Séchage thermique :** permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95 %).Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés. En raison des coûts énergétiques, ce procédé reste peu utilisé, malgré son intérêt manifeste sur la réduction des volumes à manipuler. Le séchage thermique devrait connaître un nouveau développement dans les années à venir car les autres filières de traitement des boues, dont l'incinération, se renchérissent sous l'effet des nouvelles conditions réglementaires et économiques.

1.2.4.3. Les traitements d'hygiénisations :

L'hygiénisation est un « traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans la boue » (Arrêté du 8 Janvier 1998). L'hygiénisation des boues ne s'impose que dans certains contextes d'utilisation agronomique : la plupart des boues épandues ne sont pas hygiénisée, la maîtrise du risque sanitaire reposant de façon satisfaisante sur l'application de règles de bonnes pratiques.

1.2.5. Valorisation agricole des boues d'épuration :

- **L'utilisation agricole des boues :**

Le choix de cette filière comme moyen de valorisation de ces résidus est dicté par trois raisons principales :

* le premier point concerne leur valeur fertilisante. Il est ainsi admis que les apports de boues permettent de couvrir, en partie ou totalement selon les doses appliquées, les besoins des cultures en azote et en phosphore et éventuellement en magnésium, en calcium et en souffre, ou bien de corriger rapidement des carences en d'autres éléments (Zn, Mg,...).

En revanche, les quantités de potassium trouvées dans les boues sont très faibles et ne contribuent que de façon minime aux besoins des cultures **(Juste, 1995). Mench et Baize, (2004)** rapportent que le taux d'utilisation du phosphore des boues comparé à celui des phosphates solubles est de l'ordre de 60 à 80% dés la première année de l'épandage. Alors que pour l'azote, le taux d'utilisation dépendra assez fortement des modes d'obtention des boues qui conditionnent les différentes formes d'azote. D'une façon générale, la forme ammoniacale est totalement disponible dés la première année, alors que le taux d'utilisation des formes organiques varie de 15 à 50%. Les travaux réalisés sur les boues du lagunage et les boues activées ont montré que leur valeur fertilisante en éléments azote et phosphore est comparable à celle des engrais minéraux **(le supertriple et l'ammonitrate) (Bousselhaj,1996).** L'apport des boues sur les sols culturaux entraîne une augmentation des rendements de culture (**Schauer *et al.* 1980 ; Morel *et al.* 1988 ; Gardinier *et al.*1995 ; Bousselhaj, 1996 ; Boukhars, 1997 ; Igoud, 2001 ; Mantovi *et al* .2005)** et améliore la capacité nutritive des plantes en éléments azote, calcium et magnésium (Torleif ,2001)

* le second aspect invoqué à un moindre degré pour la valorisation des boues en agriculture est l'apport de composés organiques qui contribuent au maintien du stock humique et à l'activation de la vie biologique dans les sols. Dans des études concernant les effets à long terme des boues sur les propriétés physiques et physico-chimiques des sols, plusieurs auteurs ont montré que les apports répétés se traduisent par une augmentation significative de la teneur en carbone des sols **(Speir *et al.* 2003 ; Albrech, 2007 ; Pascual *et al.* 2007).** Cette augmentation a pour conséquence directe une modification des propriétés qui dépendent directement de cette grandeur (capacité d'échange cationique, densité apparente, teneur en eau à la capacité au champ) **(Ojeda *et al.* 2003 ; Chang *et al.* 2004 ; Annabi, 2005).**

* le troisième intérêt concerne l'aspect socio-économique. La valorisation agricole constitue un moyen d'élimination des boues relativement économique, et qui est généralement bien accepté par des organismes de gestion des déchets, car elle révèle d'une logique de recyclage de la matière et d'exploitation de leur pouvoir fertilisant. Par ailleurs, l'élimination des déchets par leur épandage sur les sols agricoles peut se heurter à plusieurs contraintes. En effet, l'épuration des eaux usées repose sur l'élimination des micropolluants organiques, minéraux et des germes pathogènes (bactéries, virus,). Dans les ouvrages de traitements des eaux usées, ces polluants se concentrent au niveau des sédiments qui constituent les boues résiduaires. La présence de ces micropolluants à certaines concentrations peut restreindre la valeur agronomique de ces boues.

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

1. Materiel :

1.1. Le sol :

Le sol utilisé pour l'expérimentation est un sol agricole provient de la région de Salah Soufi commune Belkheir wilaya de Guelma située au Nord-est d'Algérie

Les échantillons du sol sont prélevés à une profondeur variée entre 15 - 25cm.

Figure 2: Situation géographique de la localité Salah Soufi, Commune de Belkhir, Wilaya de Guelma

Le Climat est sub-humide ; la pluviométrie est d'environ 450 à 600 mm/an.

Tableau 1 : Relevés de la station météorologique d'El Bey dans la commune de Guelma (période : 1986-2016)

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	jui.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	5,9	5,3	6,7	9,3	12,5	16,3	19,6	20,2	17,6	14,4	10	7	**12,1**
Température moyenne (°C)	10,1	10,8	12,2	15,1	18,9	23,9	27,3	27	24,4	20,4	15,2	11,4	**18,1**
Température maximale moyenne (°C)	14,6	16,3	17,8	20,9	25,2	31,1	34,9	34	31,1	26,4	20,5	15,9	**24**
Précipitations (mm)	72,9	63,7	62,4	37,3	45,4	14,7	3,9	9,8	22,9	44,6	60,5	98,3	**533,6**

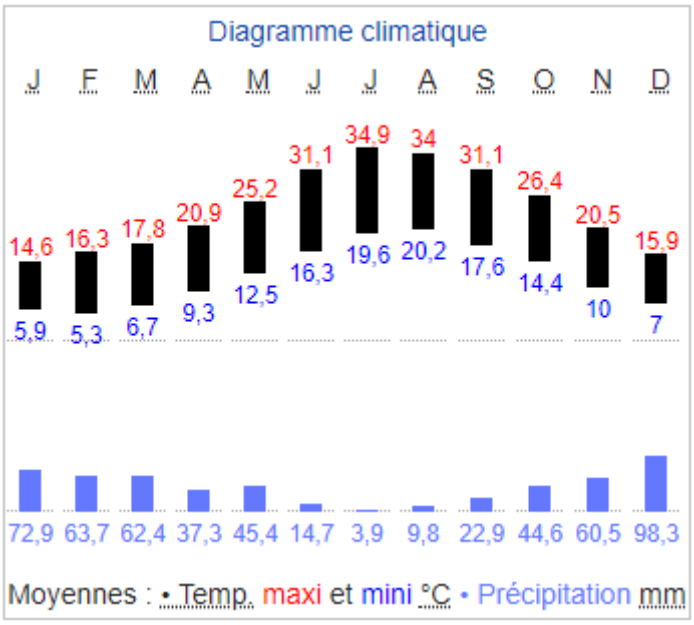


Figure 3 : Diagramme climatique de la wilaya de Guelma

1.2. Les boues :

Les boues utilisées dans notre expérimentation proviennent de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma située

1.3. Le matériel végétal :

Le matériel végétal ayant fait l'objet de cette étude est une variété de tomate (Rio Grande) cultivées en Algérie. Les semences de cette variété nous ont été fournies par un agriculteur de la région de Boumahra Ahmed(Guelma).

Figure 4 : Photo de la Graine de Tomate de Rio Grande utilisées

- **Origine :**

La tomate est une devenue un des légumes les plus importants du monde (**Perveen.2013**). Elle consommée comme légume dans le monde entier. La production mondiale de tomates était centaines de millions de tonnes de fruits frais sur une superficie évaluée à des millions d'hectares. Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie s'agrandit de jour en jour. La tomate appartient à la famille des Solanaceae.Cette famille regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telles que la pomme de terre, le tabac….

La tomate est originaire des Andes d'Amérique du Sud .Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544 .De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient. Plus récemment, la tomate sauvage a été introduite dans d'autres régions de l'Amérique du Sud et au Mexique.

Il existe un grand nombre de variétés concernant la tomate : ronde classique, ronde grappe, cerise, coktail, ananas,roma et allongée…

La Tomate *Rio grande* (Solanum lycopersicum L .) de la famille des solanacées, est une plante herbacée annuelle de type Roma originaire d'Italie, très cultivée pour son fruit consommé à l'état frais ou transformé **(CHAUX et FOURY, 1994).**

- **Description morphologique :**

- La tomate est une plante annuelle, qui peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres.
- La première cueillette peut avoir lieu 45 à 55jours après la fleuraison, ou 90 à 120 jours après semis. La forme de fruits varie selon la variété, la couleur varie dans la gamme du jaune au rouge.

On peut distinguer deux types de mode de croissance conduisent à deux types de culture tout à fait différents. Il existe également des variétés de tomate à croissance semi-déterminée.

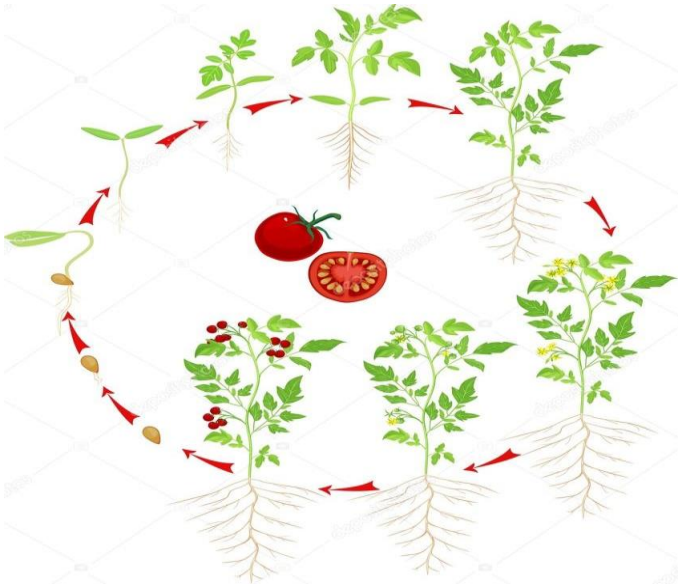


Figure 5 : Cycle de vie de la tomate.

- **Avantages de la tomate :**
  - C'est une culture potagère à cycle relativement court.
  - L'on peut opter pour une période de production courte ou longue.
  - La tomate peut être cultivée en champ ouvert et sous abri.
  - La tomate s'incorpore bien dans différents systèmes de culture.
  - La tomate a une valeur économique élevée.
  - Le fruit de la tomate a une teneur élevée en oligo-éléments.
  - Les fruits peuvent être transformés, séchés et mis en conserve.

2. Intérêt économique :

Dans le monde entier, la tomate occupe la deuxième place après la pomme de terre, que ce soit dans la production ou la consommation **(TRICHPOULOU et LAGIO, 1997). LEMOINES (1999)** rapporte qu'il en existe plus de 700 variétés.

En 2010, 145,8 millions de tonnes ont été produites. Les pays méditerranéens en sont consommateurs en toutes saisons **(BENKAMOUN, 2009).**

En Algérie, elle est beaucoup plus consommée sous sa forme industrielle. **BACI (1993)** estime que sa consommation annuelle sous forme concentrée avoisinerait les 04 Kg par an et par habitant. La plante est cultivée sous serre et en plein champ, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes **(ANONYME1, 2010).**

Compte tenu de son importance économique, elle fait l'objet de nombreuses recherches scientifiques et elle est considérée comme une plante modèle en génétique. Elle a donné naissance aux hybrides commercialisés de façon éphémère, aux Etats Unis dans les années 1990 **(ANONYME2, 2010).**

- **3. Intérêt nutritionnel :**

La tomate fait partie des légumes les moins énergétiques avec son apport de 18,4kcal pour 100g (soit 77,2kj) alors que l'apport moyen des légumes frais set de 35,26 kcal.

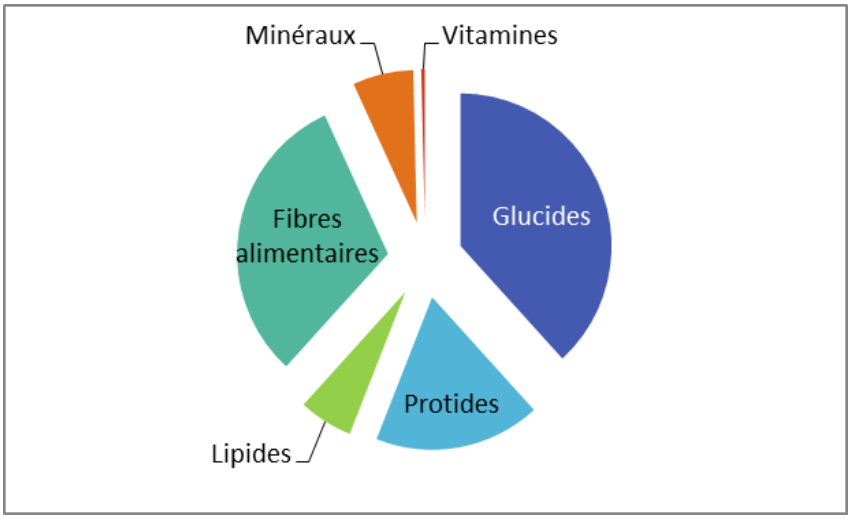


Figure 6 : Composants de la tomate.

2. Méthodes :

2.1. Protocole expérimental :

Avant les essais, le sol utilisé a subi un tamisage afin d'éliminer les débris végétaux, graviers. La fraction fine du sol a été séchée à l'air libre puis partagées en quantités égales, à savoir 8kg par pot. Chaque série de 3 pots reçoit une quantité de boues, désignées par T0, T1, T2 et T3 dans un apport boue/sol respectivement de 0%, 25%, 50% et 75%.

Les boues correspondant aux doses retenues par le protocole ont été séchées à l'air libre, broyées puis passées sur un tamis. Ensuite, elles sont soigneusement mélangées avec le sol pour réaliser une distribution uniforme de cet amendement.

Dispositif expérimental :

L'essai est conduit selon un dispositif expérimental en blocs complémentaire, comportant quatre(4) traitements. Chaque traitement est répété tris fois, à raison de six plantes par pot.

Les traitements appliqués sont :

-Traitement 1(T0) : constitué de pots contenant les échantillons de sols sans apport boues (témoin).

-Traitement 2(T1) : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par 25% de la boue.

-Traitement 3(T2) : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par 50% de la boue.

-Traitement 4(T3) :constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par 75% de boue.

Figure 7: Image de dispositif expérimental de l'essai.

3. Paramètres physiologiques :

3.1. Le taux de germination des graines :

Le taux de germination est le rapport entre les graines a germées et les graines a semis on calcule le taux de germination selon la formule suivante :

Taux de germination(%)= les graines a germés/ les graines a semés ×100

3.2. Mesures des paramètres de croissance :

Les longueurs des parties aériennes (**LPA**) et des parties racinaires (**LPR**) ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée en mm.

3.2.1. Poids frais (Pf) : Juste après la récolte, le poids frais (Pf) des parties aériennes (tiges + feuilles) et racinaires de chaque plante a été déterminé par pesées à l'aide d'une balance de précision.

3.2.2. Poids secs (**Ps**). Après la détermination du poids frais (Pf), les parties aériennes et racinaires sont ensuite soigneusement séparément emballées dans du papier aluminium, numérotées et mises à l'étuve réglée à 80°C jusqu'à poids constant. Le poids sec (Ps) des échantillons a été déterminé par pesée.

3.2.3. La matière sèche (**MS**) des parties aériennes et racinaires des plantes, exprimée en %, ont ensuite été déterminées selon la formule : **MS% = (Ps/Pf) 100** ; où (MS% :% de matière sèche ; Ps : poids sec et Pf : Poids frais).

3.2.4. La teneur en eau (TE).

Elle est calculée à partir des valeurs des masses fraiches et sèches mesurées précédemment, en appliquant la formule suivante : **TE (%) = [(Pf-Ps)/Pf] *100.**

3.2.5. Dosage des pigments chlorophylliens

L'extraction des pigments chlorophylliens des tissus foliaires a été réalisée suivant la méthode de Mc Kinney et *al*. (1941) cités par Arnon (1949). 20 mg de matière végétale fraiche sont broyés dans une solution d'acétone (80%), en présence de quelques milligrammes de carbonate de calcium ($CaCO_3$) pour faciliter la libération des pigments chlorophylliens. Après filtration, on procède à la lecture de la densité optique des filtrats à l'aide d'un spectrophotomètre réglé aux longueurs d'ondes suivantes : 663 nm et 646 nm après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin de l'acétone à 80%. Les teneurs en chlorophylle A, B et totale, exprimées en µg/g MVF, sont déterminées selon les équations établies par Mc Kinney (1941) cités par Arnon (1949).

Chlorophylle A = [(12.21 DO663) – (2.81 DO646)] /P

Chlorophylle B= [(12.21 A646) – (2.81 A663)] /P

Chlorophylle totale = Chlorophylle A + Chlorophylle B

Avec :

DO : Densité optique de l'échantillon mesuré à 663, 646.

V : Volume de l'extrait sur 1000 ml

P : Poids frais de l'échantillon en g

4. Paramètres biochimiques :

4.1. 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 (partie aérienne) broyé 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.

4.1.1. 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. Les six tubes sont incubés à température ambiante pendant 10 min à l'abri de la lumière.

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.

L'établissement de la gamme d'étalonnage a été réalisé à partir des concentrations croissantes du BSA. Les teneurs en protéines totales sont exprimées en µg/mg MF.

4.2. 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 (partie aérienne) sont effectués. 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. On prélève 1 ml de l'extrait auquel on ajoute :

- 1 ml acide acétique (CH_3COOH),
- 25 mg ninhydrine ($C_6H_6O_4$),
- 1 ml du mélange [(120 ml eau distillée, 300 ml acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 de densité 1,7)].

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 de l'appareil par des concentrations croissantes préparées à partir d'une solution de proline. Les teneurs en proline sont exprimées en µg/mg MF.

4.3. Dosage des sucres totaux :

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol/acide sulfurique Dubois et *al*., (1956). Cette dernière nécessite une hydrolyse acide qui permet la rupture de toutes les liaisons glucidiques dans le polyoside. Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment-là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 490 nm. La teneur des sucres est exprimée en µg/ml de α-D (+) Glucose à partir d'une courbe d'étalonnage.

-On additionne à 0,5 g d'échantillon (partie aérienne), 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,5 M, puis on place l'ensemble dans une étuve réglée à 105°C pendant 3 heures ;

-On transverse la solution dans une fiole de 500 ml tout en ajustant le volume par de l'eau distillée jusqu'à 500 ml ;

-On filtre la solution puis on réalise trois répétitions,

-Dans des tubes, on met 1 ml de chaque dilution, ensuite on ajoute dans chaque tube 1 ml de phénol à 5 % et 5 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 à 98 %,

-Les tubes sont maintenus dans l'étuve pendant 5 minutes à 105°C, puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes,

-La gamme d'étalonnage est effectuée à partir d'une solution mère de α D (+) glucose.

-Enfin, à l'aide d'un spectrophotomètre, la densité optique est lue à une longueur d'onde de 490 nm. Les teneurs en sucres totaux sont exprimées en µg/mg MF.

4.4. Dosage du Malondialdéhyde (MDA) :

200 mg de la matière fraiche des plantes(partie aérienne) sont broyées dans un mortier, un volume de 5 ml de trichloracétique 0,5% (TCA 0,5%), puis on place les tubes en centrifugeuse (5000 tour par minutes pendant 15 minutes) :

-Après la centrifugation, on récupère 1 ml de surnageant puis on ajoute 3 ml d'acide thiobarbiturique 0,5 % (TBA 0,5 %), les tubes sont placés au bain marie bouillon pendant 30 minutes et après on lit l'absorbance à 532 nm. On calcule la concentration de l'échantillon par selon la formule suivante :

$$\mathbf{Abs = £ * C * L}$$

-Abs : Absorbance.
-£ : Coefficient d'extinction (155/Mm/cm).
-C : concentration de l'échantillon.
-L : largeur de la cuve (1 cm).

5. Analyses physico-chimiques ses sols et des boues :

5.1. Mesure de la conductivité électrique :

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la teneur en sels solubles présent dans l'échantillon.

5.1.1. Principe :

Le principe est basé sur l'extraction des sels d'un échantillon solubles dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport sédiments sec /eau 1/5.

5.1.2. Mode opératoire :

On pèse 10 g d'échantillon des sédiments préparé pour l'essai qu'on transvase 50 ml d'eau distillée dans un flacon en polyéthylène, on ferme le flacon puis on le place dans un agitateur magnétique on agite pendant 30 mn après filtration on mesure la conductivité de la solution.

5.2. Mesure de pH :

Le pH des sédiments est une donnée essentielle car l'existence d'une phase minérale, sa spéciation et sa toxicité sont autant des paramètres liés au pH du milieu.

La mesure de pH se fait fréquemment dans une suspension aqueuse, le rapport de masse de sédiments au volume d'eau varie suivant les méthodes et la texture du milieu, le ratio le plus souvent rencontrée est de 1/2.5

5.2.1. Principe :

Le principe de cette méthode est la mise en équilibre ionique d'une certaine masse solide avec un volume donnée d'eau déminéralisée. Le ratio de la masse des sédiments au volume d'eau étant fixé à 1/2.5. La mesure de différence de potentiel entre l'électrode de mesure et une électrode de référence s'effectue dans la suspension en équilibre.

5.2.2. Mode opératoire :

Les échantillons (10 g) sont préparés pour l'analyse dans un bécher, on y ajoute 25 mL d'eau distillée, en agite ensuite avec un agitateur magnétique pendant 1 heur, cela permet de mettre en suspension la totalité de l'échantillon et obtenir un équilibre entre la phase solide et la phase liquide .La suspension est ensuite laisser au repos pendant 2 heurs à l'abri de l'air, puis on mesure le pH de la suspension.

5.3. Dosage de La matière organique (méthode de walkly-blak modifiée) :

Le dosage de la matière organique est réalisé à partir de l'un de ces constituants de carbone et l'azote. Le carbone représente 58% de la matière organique.

$$\mathbf{MO\ \% = CO\ \% \times 1.724}$$

La détermination de CO est basée sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium en milieu d'acide sulfurique source de chaleur.

5.3.1. Réactifs :

- Acide sulfurique concentré 95% (d=1.85).
- Solution de bichromates de potassium (0.1666 mole/L).
- Solution de sel de Mohr (0.156mol/L).
- Ferroïne indicateur de Fe (II).

5.3.2. Mode opératoire :

Peser un poids p de sol séchée et tamisée dans une fiole conique puis ajouter 10 mL de la solution de bichromates de potassium. Agiter d'un mouvement de va et vient, verser 20 mL d'acide sulfurique, agiter pendant une minute. Laisser reposer 30 minutes puis ajouter 150 mL d'eau distillée.

5.3.3. Dosage :

Il s'agit d'un retour.

On détermine la quantité de bichromates de potassium n'ayant pas réagit à l'oxydation.

-Ajouter 6 gouttes de ferroïne.

Doser avec le sel de Mohr en laissant couler celui-ci goutte à goutte au centre de la suspension à doser en agitant continuellement.

Un échantillon normal prend la couleur sombre au contact de la ferroïne, et vire finalement vers le rouge.

5.4. Le témoin :

Traiter un échantillon témoin sans terre dont :

T = nombre de mL de solution de sel de Mohr verser pour le témoin.

T ' = volume de bichromates de potassium.

t = concentration de la solution de sel de Mohr.

t' = concentration de bichromates de potassium.

T× t = T' × t', on déduit T = 10/T.

5.4.1. Calculs :

La réaction :

$$2\,K_2Cr_2O_7 + 8\,H_2SO_4 + 3C \longrightarrow 2\,Cr_2(SO_4)_3 + 2\,K_2SO_4 + 3\,CO_2 + 8\,H_2O$$

Fait apparaître que pour son équilibrage, il faut trois carbones pour deux bichromates de potassium.

Expérimentalement il a été constaté que l'oxydation du carbone par cette méthode ne se fait qu'à 77 % de sa totalité : il faut corriger le résultat par le facteur 100/77. Ce qui nous amène à dire que :

1mL de la solution de bichromates de potassium correspond 3.9 mg de carbone par excès.

Carbone (C) en gramme pour 100 grammes de terre :

Dont : **C = 0,39× (10-Vt)/P**

- **P** : poids prise de terre.
- **V** : mL versés de solution de sel de Mohr.

5.4.2. La matière organique :

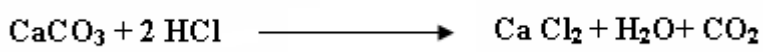
Comme la matière organique renferme que 58 % de carbone, il faut multiplier le pourcentage de C par le facteur 1.72 pour avoir le % de la matière organique.

5.4.3. Dosage du calcaire total:

On utilise la propriété de carbonates de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide en eau et CO_2.

5.4.3.1. Le principe :

On décompose par un acide fort (acide chlorhydrique) le carbonate de calcium contenue dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique :



$$CaCO_3 + 2\,HCl \longrightarrow Ca\,Cl_2 + H_2O + CO_2$$

Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide de calcimètre de Bernard. En comparant les deux volumes, on détermine le taux de carbonates exprimé en carbonate de calcium de l'échantillon de sol.

5.4.3.2. Mode opératoire :

Introduire la prise d'essai de poids P dans une erlènemyer muni d'une extension latérale en doigt contenant 5 mL d'HCl, fermé la fiole on la raccrochant au calcimètre ; faire couler l'HCl sur l'échantillon du sol pour attaquer le carbonate de calcium,

Si le sol contient le calcaire, il se produit un dégagement du CO_2 déplaçant l'eau dans la colonne de calcimètre d'un volume V_1.

Procéder de la même manière avec un témoin constitué de 0.3 g $CaCO_3$ pur, soit V_2 le volume obtenu.

5.4.3.3 Calcul :

Pour calculer le pourcentage du $CaCO_3$ on applique la formule suivante :

$$Ca\ CO_3\ \% = \frac{30V_1}{V_2 P}$$

5.4.4. Dosage du phosphore (Méthode de Olsen et sommer):

5.4.4.1. Principe :

L'échantillon est porté à très haute température dans un creuset de platine en présence de carbonate de sodium. Le résidu transvasé dans l'acide sulfurique réagira avec le molybdate d'ammonium pour former le complexe phospho-molybdique qui s'accompagnera d'une coloration bleue après réduction par l'acide ascorbique. Le dosage est effectué au spectrophotomètre. En principe, tout le phosphore minéral, et organique (assimilable) et dissous est dosé par cette méthode.

5.4.4.2. Réactifs :

- Eau déminéralisée ayant une conductivité inférieure à 0,5µs.cm
- Carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3).
- Solution de carbonates de sodium (Na_2CO_3)1 mol/L.

- Solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4) 4.5 ; 2 et 1 mole/L.
- Solution de molybdate d'ammonium [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$, $4H_2O$] 1%.
- Solution d'acide ascorbique ($C_2H_8O_6$) 10 %.
- Solution d'antimoine [K (SbO), $C_4H_4O_6$) $0.5H_2O$] (oxytartrates d'antimoine III et de potassium) 2.668 g/L.
- Solution d'acide ascorbique et d'antimoine préparée comme suit : mélanger 50 ml de la solution d'acide ascorbique avec 50 ml de la solution d'antimoine dans une fiole jaugée de 100 mL
- Solution mère étalon de phosphore (P) 500 µg/mL
- Solution fille de phosphore (P) 250 µg/mL
- Solutions étalon de phosphore (P) : Pipeter à la micropipette respectivement 0, 2, 4, 6, 8, et10 mL de la solution fille du phosphore, et verser dans une série des fioles jaugées de 50 mL. Ajuster avec l'eau déminéralisée. Homogénéiser. On obtient ainsi des solutions de 0, 1, 2, 3, 4 et 5 µg/mL.

5.4.4.3. Mode opératoire :

Peser 1g de sol sec tamisé à 0.5 mm et 5 g de carbonate de sodium. Mélanger et placer dans un creuset en platine.

- Ajouter 1 g de carbonate de sodium au-dessus du mélange sol/carbonate de sodium.
- Chauffer doucement le creuset à l'aide d'un bec Bunsen afin d'évaporer toute éventuelle humidité.
- Placer le couvercle sur le creuset de façon à laisser 1/5 du creuset non couvert. Chauffer à l'aide du bec Bunsen avec une petite flamme, pendant 10 min afin que la masse fonde doucement.
- Accélérer la fusion en chauffant à flamme maximum pendant 15 à 20 min.
- Soulever le couvercle avec une pince à intervalles réguliers de façon à être en conditions oxydantes.
- Lorsque la fusion est terminée, laisser refroidir un peu le creuset avant de le manipuler pour éviter qui 'il se déforme .puis le laisser refroidir tout en lui imprimant un mouvement rotatif.
- Lorsque le creuset est suffisamment froid pour être touché. Le faire rouler doucement entre les mains pour faciliter le décollage de la masse fondue.

- Transvaser le contenu du creuset dans une fiole jaugée de 250 mL, avec 30 mL de solution d'acide sulfurique (4,5 mol/L) préalablement versés dans le creuset. Faire très attention d'éviter des pertes dues à l'effervescence produite.
- Placer le creuset et son couvercle dans un bécher de 100 ml.
- Ajouter 25 mL de solution d'acide sulfurique (1 mol/L) et chauffer jusqu'à l'ébullition.
- Transvaser la solution et les sédiments dans la fiole de 250 mL, ajuster au volume avec l'eau déminéralisée.
- Laisser reposer jusqu' à ce que les sédiments soient déposés.
- Prélever une aliquote de 5 mL de surnageant et verser dans des fioles jaugées de 50 mL de 4 échantillons.
-
- Ajuster à pH 5 avec la solution de carbonate de sodium, ajouter 5 mL de la solution d'acide
- sulfurique (2 mol/L) et 5 mL de la solution de molybdates d'ammonium et agiter.
- Ajouter 4 mL de la solution d'acide ascorbique et d'antimoine, ajuster le volume avec l'eau déminéralisée. Homogénéiser et laisser la coloration se développé pendant 10mn.
- Mesurer l'absorbance au spectrophotomètre à 860 nm.
- Prélever 5 mL des solutions étalons à 1, 2, 3, 4 et 5 µg/mL dans des fioles de 50 mL et les traiter comme l'échantillon.

5.4.4.4. Calculs :

Après la lecture au spectrophotomètre, tracer la courbe d'étalonnage et déterminer la concentration de phosphore contenue dans les échantillons. Pour calculer la teneur du phosphore dans 100g des sédiments on applique la formule suivante :

$$P\ (\mu g/g) = C \times V/S = 250\ C$$

Où :

C: microgrammes de phosphore déterminés sur la courbe d'étalonnage (µg/mL).

V : volume d'extraction en mL (250 mL).

S : poids de la prise d'essai de terre en g (1g).

Chapitre 3 : Résultats et discussion

I. Caractérisation physico-chimique de sol :

Les différents paramètres physico–chimiques du sol et de la boue d'épuration utilisées dans notre étude sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques du sol et de la boue

	Conductivité électriques (µS/cm)	**pH**	**Matière organique** (%)	**Carbone organique** (%)	**Phosphore (**mg/kg)	**Azote (**mg/kg)	**C/N**
Boue	2091±5,88	6,76±0,06	3,06 ±0,0 4	1,75±0,02	3,93±0,32	20,58±0	0,08
Sol	272,66 ± 24,85	7,4 ± 0,08	10, 52± 0,32	4,14 ±0,18	12,62 ±0,43	2,09 ± 0,3	1,02

1- Mesure de pH :

L'un des facteurs qui influe directement sur l'absorption des éléments nutritifs. Le pH du sol est une expression synthétique des conditions physicochimiques qui président en partie à la structuration du sol, à l'activité microbienne et à la disponibilité des éléments nutritifs **(Genot et al, 2007).** Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH mètre. La mesure du pH d'un sol et des boues permet de définir leurs états d'acidité ou d'alcalinité. Selon l'échelle de pH des sols établit par **Feller (1995),** le sol utilisé dans notre étude est considéré comme alcaline avec un pH de 7,40. Cette alcalinité des sols étudiés peut être rapportée à la nature de la roche mère qui est riche en calcaire. Par ailleurs le pH mesuré des boues d'épuration est proche de la neutralité avec une valeur de 6,76. Le sol de la localité Salah Soufi, commune de Belkhir, wilaya de Guelma avec un pH légèrement alcalin est considérés comme étant de bonne terre pour la croissance et le développement des végétaux, la plupart des plantes s'acclimatent bien dans ces types de sols qui favorisent l'assimilation des éléments nutritifs et présent une certaine stabilité et résistent assez bien à toutes modifications brutales des réactions du sol.

2- La conductivité électrique :

La conductivité électrique (CE) des sols détermine leur degré de salinité. L'échelle de **Durand (1983)** a été utilisée pour indiquer la classe de salinité de l'extrait du sol et des boues étudiées. Les résultats de notre analyse montrent que le sol a une conductivité électrique de 272,66 µS/cm, indiquant une faible minéralisation (salinité). Par contre la conductivité électrique de la boue d'épuration à afficher une valeur de 2091 µS/cm exprimant la forte minéralisation des boues et leur richesse en élément nutritifs.

3- La matière organique et le carbone organique:

L'analyse des données (Tableau 2) montre que les sols de la localité Salah Soufi enregistrent en moyenne les valeurs les plus faibles en matière organique varie entre 1,94% et 4,2 %. Selon la classification de **Baize (1988),** le sol que nous avons utilisé lors de l'expérimentation est pauvre en matière organique. En effet les faibles teneurs en matière organique dans notre sol peuvent trouver leur explication dans la sur exploitation de ces terre parce qu'elles sont cultivée en céréale depuis plusieurs années. Tandis que, les boues d'épuration ont présenté des teneurs très élevées en matière organique les résultats obtenue sont variées entre 9,25 %et 11,79 %. Ces teneurs élevés résultent des matières transportées par les eaux usées issus des activités quotidiennes des citoyens et transformés par l'activité biologique des micro-organismes vivant dans ces stations pour donner de sels minéraux et de matière organique.

4- Le phosphore assimilable:

Le phosphore assimilable est l'un des éléments majeurs indispensable à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la mise en place du système racinaire, la photosynthèse et la reproduction du végétal **(Elalaoui, 2007).** Le sol de Salah Soufi est moyennement riche en phosphore avec une moyenne de 3.93 mg/kg. Les boues d'épuration ont présenté une teneur très élevé en phosphore qui dépasse 12 mg/kg. Le phosphore présent en grande quantité dans nos eaux usées et provient généralement des excréments, des produits de nettoyage, détergent et des produits de cosmétique.

5- L'azote total :

L'azote est élément les plus déterminant de la valeur fertilisante des, l'analyse de nos boues et sol à donné le résultat de 20,58 % et 2,09 % d'azote total (Tableau). Donc la valeur de l'azote de notre boue et très importante pour notre essai.

II. Effets des boues sur le développement des plantes de la tomate Rio Grande :

Dans le but de connaitre l'effet de l'épandage des boues sur le développement de la tomate *Rio Grande* cultivée sur un sol agricole et ayant reçu un apport de boues, nous avons procédé à l'évaluation de certains paramètres physio- morphologiques et biochimique.

1- Paramètres physio- morphologiques :

1-1- Le taux de germination :

Tableau 3 : Taux de germination comparative entre les différents essais

Traitements	**T0**	**T1**	**T2**	**T3**
Taux de germination	100%	64,44%	67,77%	66,66%

Le taux de germination est maximal chez le témoin (T0) par rapport aux autres traitements amendés par les boues. Grâce à sa richesse en éléments nutritifs et sels un stress salin causé par les boues utilisées dans notre étude affecte relativement le taux de germination des la Tomate.

1-2- Autres paramètres physio- morphologiques

Les résultats de certains **paramètres physio- morphologiques** (poids sec, poids frais, Matière sèche et teneur en eau) (figure 8) montre que de l'addition des boues d'épuration n'améliore pas ni le poids frais ni le poids sec des parties aériennes et racinaires. Les résultats montrent aussi que les doses de boues apportées au sol ont un effet négatif sur la teneur en eau surtout dans la partie racinaire des plantes ; ceci serait lié à la mauvaise croissance de la tomate Rio Grande. Les profils de la teneur en eau mesurés au cours des essais ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements (figure 8- C)

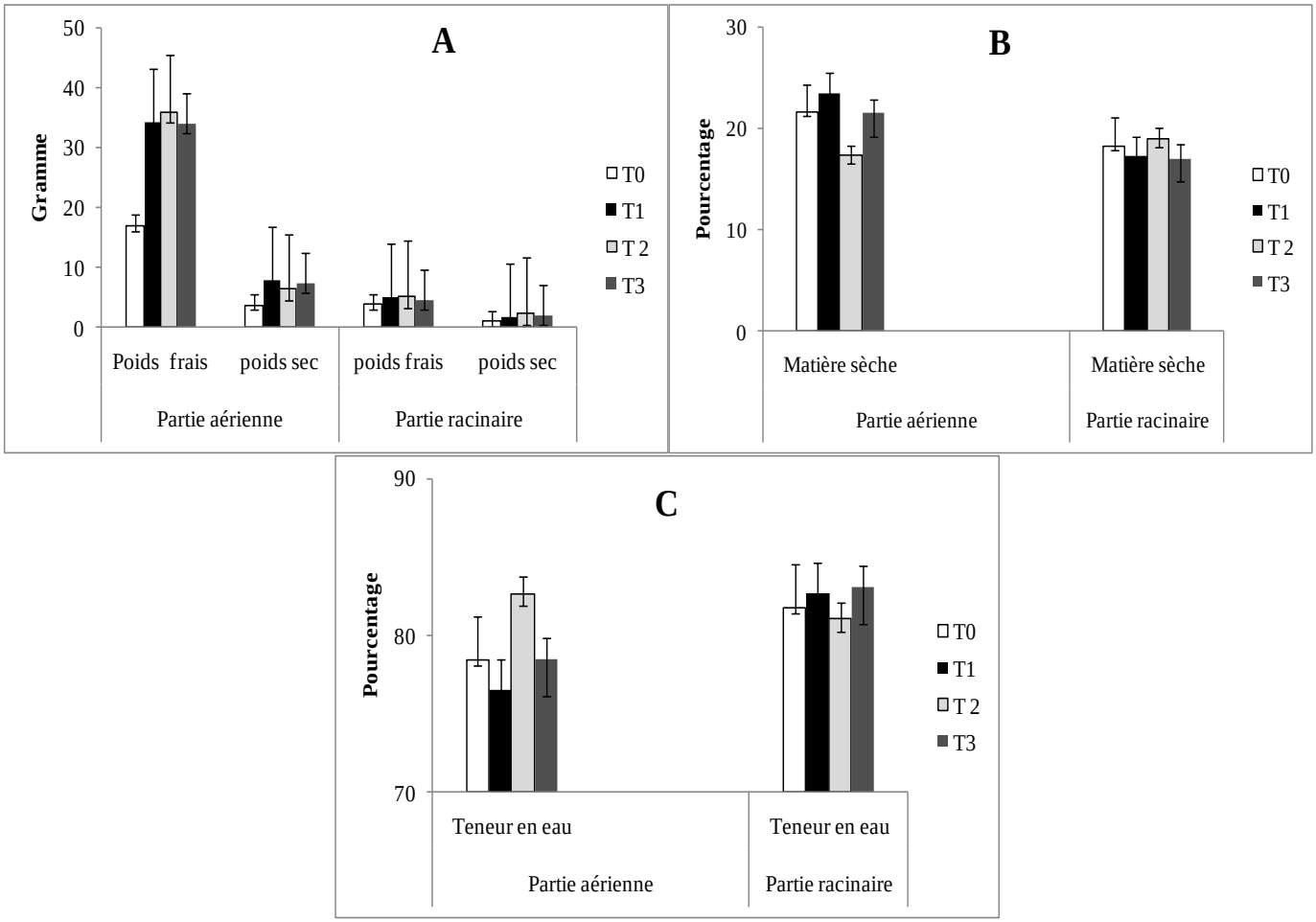


Figure 8: Certains paramètres physio- morphologiques (**A** : poids sec, poids frais, **B** : Matière sècheet **C** : teneur en eau) des plantes de la tomate Rio Gran de cultivée dans un sol amendé :

2- Paramètres Biochimique :

2-1- La teneur en proline :

On observe que (Figure 9) que les teneurs de la proline dans les parties aériennes de la tomate augmentaient progressivement avec l'augmentation de la dose d'épandage des boues

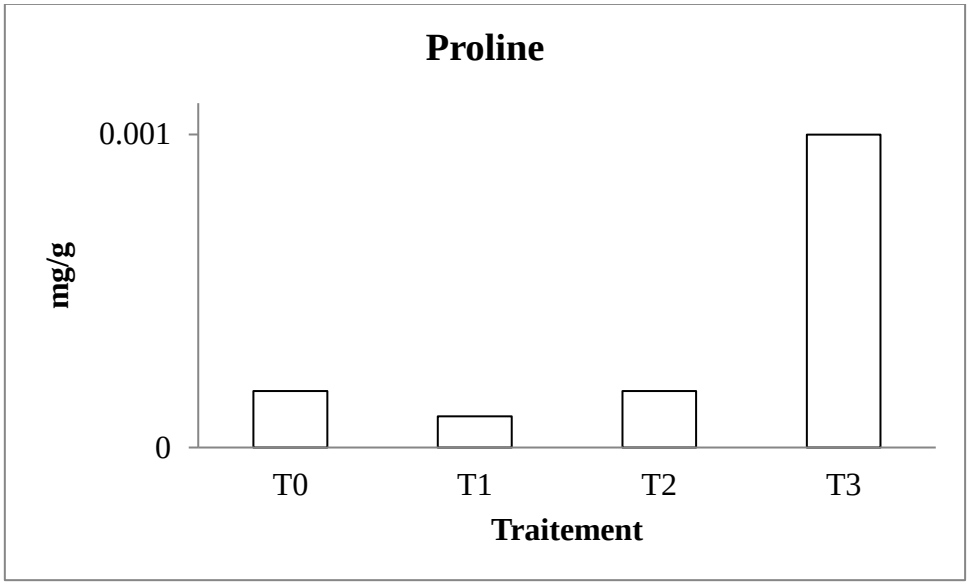


Figure 9: L'effet des boues sur la teneur en proline**.**

L'accumulation de la proline est plus élevée en T3 (8µg/gMF) et en T2 (3µg/gMF) par rapport au T1 et au témoin T0 (Figure 7). Les résultats montrent une réponse significative entre les différents traitements. Le stress semble avoir déclenché la protéolyse nécessaire pour l'obtention de quantité plus au moins importante de proline, mais Il n y a pas de réponse au point d'envisager un blocage possible de l'activité métabolique en cours. L'augmentation de la proline dans les plantes, est liée directement à la richesse des boues en sels qui ont provoqué un dysfonctionnement biochimique des cultures comparable à un stress salin, mais sans perturber la croissance des plantes. En effet, la proline est un acide aminé souvent considéré comme un bio marqueur de stress **(Dinakar et *al.*, 2008 ; Szabados et Savouré,2009). Aspinal et Paleg (1981),** ont signalé que la proline est l'acide aminé le plus caractérisé des plantes soumises au stress salin, l'importance de la proline comme indicateur aux agressions semble jouer un rôle dans le maintien des pressions de la vacuole, mais aussi dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques. Ainsi qu'un régulateur du pH, **(Alem et Ameri, 2005).**

2-2- Teneurs en chlorophylle :

Chlorophylle a :

La figure (10) montre que l'addition des boues au sol augmente la teneur en chlorophylle à des feuilles de la tomate *Rio Grande*. En effet, l'analyse des moyennes montre que seul le traitement T3 diminue d'une façon significative ce paramètre. Le taux est minimal dans le traitement T0, maximal dans le traitement T1 et il diminue dans T2,T3.

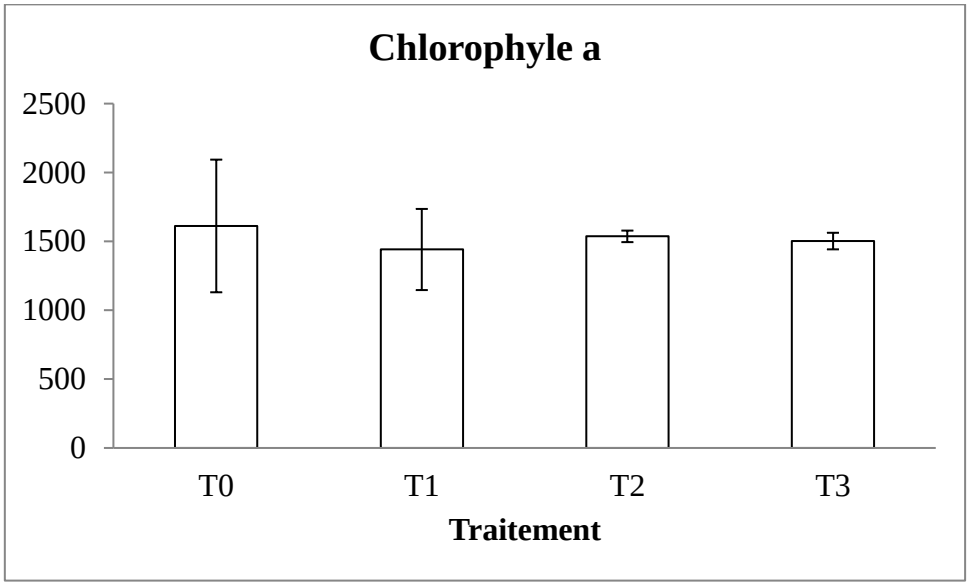


Figure 10 : L'effet des boues sur la teneur en chlorophylle

Chlorophylle b

La chlorophylle est indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante qui consiste à produire de l'énergie chimique (ATP) à partir de l'énergie lumineuse du soleil. Nous avons procédé au dosage des teneurs en chlorophylle totale, paramètre susceptible de nous indiquer un éventuel stress, car considérée comme bio marqueur dans le cadre d'un stress ou d'une toxicité des végétaux **(Dewez et *al.*,2007).**

Les résultats illustrés sur les figures de la proline et de la chlorophylle montrent une certaine proportionnalité entre les teneurs en proline, les teneurs en pigments chlorophylliens accumulées. La plante qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît une diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa **(Dewez et *al.*, 2007).** Ces observations laissent indiquer que le développement des cultures de la fève sur sol amendé avec les boues résiduelles se déroulent dans des conditions non optimales et que la fonction photosynthétique a enregistré un léger dysfonctionnement métabolique du au stress engendré par la salinité élevée des boues. **Bengston et *al*. (1978), Reddy et Veeranjaneyulu (1991)** suggèrent l'existence d'une relation vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Cette évolution pourrait se traduire par une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun qui est le glutamate.

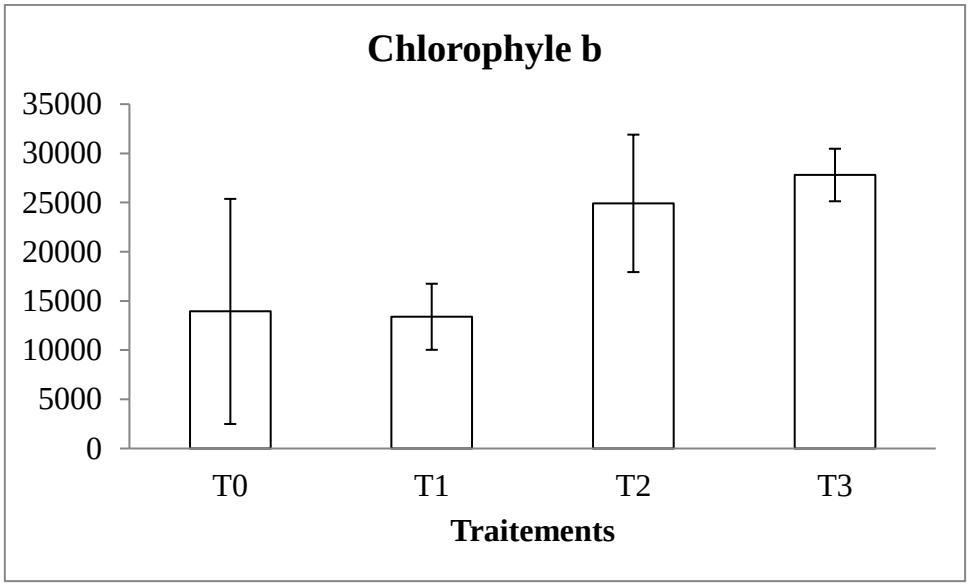


Figure 11 : L'effet des boues sur la teneur en chlorophylle B.

La chlorophylle est indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante qui consiste à produire de l'énergie chimique (ATP) à partir de l'énergie lumineuse du soleil. Nous avons procédé au dosage des teneurs en chlorophylle totale, paramètre susceptible de nous indiquer un éventuel stress, car considérée comme bio marqueur dans le cadre d'un stress ou d'une toxicité des végétaux **(Dewez et *al.*,2007).**

Les résultats illustrés sur les figures de la proline et de la chlorophylle montrent une certaine proportionnalité entre les teneurs en proline, les teneurs en pigments chlorophylliens accumulées. La plante qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît une diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa **(Dewez et *al.*, 2007).** Ces observations laissent indiquer que le développement des cultures de la fève sur sol amendé avec les boues résiduelles se déroulent dans desconditions non optimales et que la fonction photosynthétique a enregistré un léger dysfonctionnement métabolique du au stress engendré par la salinité élevée des boues. **Bengston et *al*. (1978), Reddy et Veeranjaneyulu (1991)** suggèrent l'existence d'une relation vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Cette évolution pourrait se traduire par une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun qui est le glutamate.

2-3- Sucres totaux :

La figure montre que l'accumulation des sucres solubles reste quelque peu régulière dans le sens où la dose appliqué se traduit par une diminution en teneurs de sucres solubles. Le témoin T0 montre une supériorité numérique en tous cas par rapport au traitement T3. Des chutes de teneurs en sucres totaux enregistrées sous l'effet de la dose des boues appliquée.

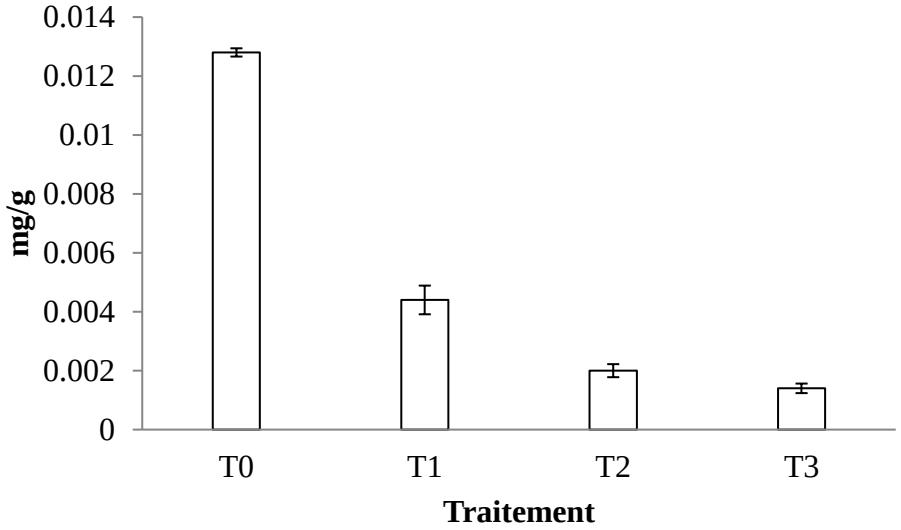


Figure 12 : L'effet des boues sur la teneur en sucres totaux.

2-4- Les protéines totales :

Les résultats montrent que la teneur en protéines totales dans la partie aérienne de la tomate augmente avec des petites variations avec l'augmentation de la dose des boues. Cette teneur est affectée par le stress des boues car elles sont riches en sels et en éléments nutritifs (Kapoor et Srivastava, 2010).

L´accumulation des protéines comme matière de réserve est déterminante avec les plus fortes doses de boues appliquées. Nous pensons que ce classement est en rapport avec la fourniture de l´élément azote (sous forme de nitrates) comme élément majeur qui rentre dans la composition des protéines, au même titre que le carbone. Nombreux sont les auteurs qui ont montré que les boues résiduaires constituent une véritable source d´azote (Grimaud, 1996), cas de notre boue .Ainsi, l'épandage de cette matière permet d´améliorer la quantité de nitrate dans le sol (Courtney et Mullen, 2008). Cet élément, une fois absorbé par les plantes sera incorporé dans la matière végétale sous forme de protéine.Il se dégage des résultats obtenus que l´accumulation des protéines est en étroite relation avec les doses appliquées. travaux réalisés par Bousselhadj (1996) sur les boues de lagunage et les boues activées montrent que la valeur fertilisante de ces dernières du point de vue azote et phosphore est comparable aux engrais minéraux.

Ces résultats sont en accord Antolin *et al.* (2005), qui obtiennent aussi une amélioration de cette matière de réserve sous l´effet d´un épandage répété de boue. Ces auteurs détiennent avec les traitements boues une teneur en protéines et de boue par rapport au témoin. Il a été également signalé par Rashid *et al.* (2008), une augmentation en la teneur des protéines de suite à un épandage de boues. De son coté Pissson (2000) obtient dans son essai une teneur en protéine suite à un épandage de boue résiduaire sur un sol calcaire, contrairement au témoin.

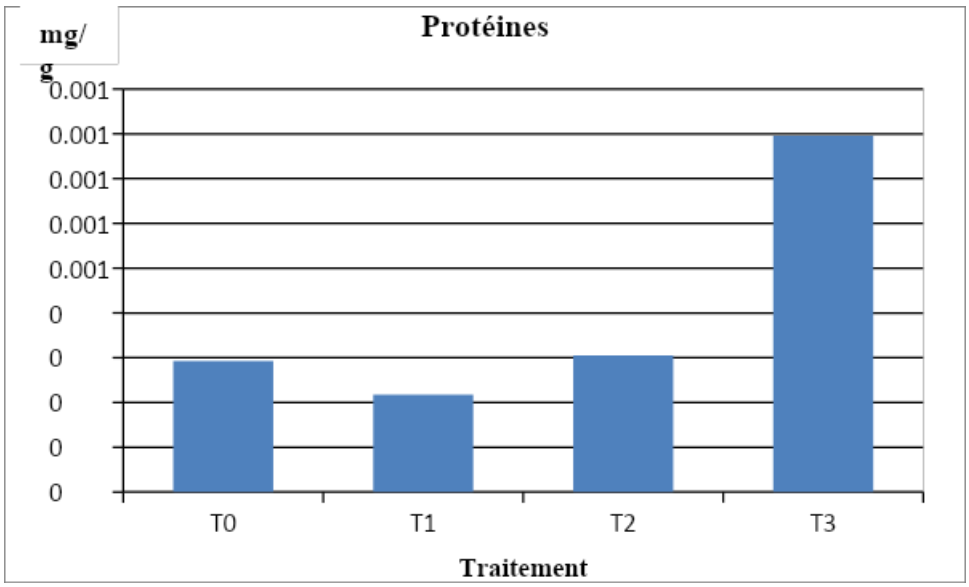


Figure 13: L'effet des boues sur la teneur en protéines totales

Conclusion

Conclusion

Notre travail avait pour objectif la mise en évidence de l'impact des boues d'épuration sur la croissance et le développement de la tomate Rio grande, par le suivi de la variation de certains paramètres physio-morphologiques et biochimiques ainsi que la caractérisation physico-chimique du sol et des boues. Les essais en pots contenant le sol de Salah soufi, amendé avec de boues d'épuration de la STEP de Guelma à différentes concentrations et cultivé par la Rio grande à une durée de 60 jours, nous a permet d'obtenir les résultats suivants.

Le sol de Salah Soufi utilisé dans le cadre de cette étude présente une texture pauvre en matière organique et en azote, caractérisé par un pH légèrement alcalin et une teneur plus au moins faible en phosphore.

Par ailleurs, les résultats des analyses des boues résiduaires ont montré qu'elles sont riches en matière organique, en phosphore, par contre elles sont dépourvues en azote avec un pH et proche de la neutralité une forte minéralisation.

Enfin, les essais conduisent en pots et les mesures physio-morphologiques et biochimiques effectuées après 60 jours de culture, nous ont permis de mettre en évidence un effet net de l'apport des boues sur le développement végétatif de la tomate Rio grande .L'effets observés sont :

-La variation des paramètres morphologiques, à savoir la longueur, les poids frais et secs, la MS des parties aériennes et racinaires.

-L'augmentation de la proline qui constitue un signe révélateur d'un stress ou d'un dysfonctionnement du métabolisme du végétal, ceci serait lié à la charge des boues en matière organique et en éléments nutritifs.

-Malgré l'amélioration de quelques paramètres de nutrition minérale de la plante, notre étude reste incomplète. En effet, la période de l'essai n'est pas suffisante pour apprécier l'influence de boues sur les paramètres de rendement de la culture et sur certaines propriétés physiques des sols.

Références bibliographiques

Albrech,R.(2007). Co- compostage de boues de station d´épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique .Thèse de Doctorat. Université Paul Cezanne Aix Marseille III. France. 189p.

Amir S. (2005). Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost .Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Institut National Polytechnique de Toulouse –France, 312p.

Annabi, M.(2005). Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat Institut National Agronomique Paris. Grignon.France. 280 p.

Anonyme 2.(2007). Sarl CASAP. Variétés de tomate. (PDF).3P.

ATI S, (2010). Etude de l'effet des boues résiduaires sur sol cultivé : Dynamique du phosphore et son utilisation en zone semi – aride. Mémoire de Magister : Université El Hadj Lakhdar, Batna, 63pp.

Baize D. (1988). Guide des analyses courantes en pédologie I.N.R.A, France imprimé par Jouve, Paris 172 p

Behaviour canola (Brassica Napus) following a sewage sludge treatment. Carpathian J. Earth

Bengston C., Klockare B., Klockar R., Larsson S. et Sundquist C. (1978). The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. Plant Physiol. **43**, 205-212.**Bousselhaj, K., 1996**. Etude du potentiel fertilisant (N et P) de deux boues de stations d ´épuration par lagunage anaérobie et par boues activées. Thèse de 3eme cycle, Université. Cadi Ayyad .Faculté des sciences.Semlalia. Merrakech. Maroc. 171 p.

Boumediene A, (2010). Effet de l'application des boues d'épuration sur la biomasse de la culture d'orge en sec et sur l'état de surface d'un sol dans la région de Laghouat. Mémoire d'ingéniorat: Université Ammar Tlidji de Laghouat. 79 pp.

Brame. (1986). Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. Série documents techniques A.F.E.E. France**.35,** pp. 191-200.

Buffet, M. (2010). Analyse sur la situation du recyclage agricole des boues résiduaires en Europe. Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du Mastère Spécialisé «Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets» Option Déchets Industriels. Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 51 p.

Chang, B.V.C., Yang,M., Cheng,C.H. et Yuan, S.Y. (2004). Biodegradation of phthalate esters by two bacteria strains. J.Chemosphere. 55 (4), 533-538.

Chapman H.D. et Pratt P.F. (1961). Method of analysis for soils, and waters.

CHAUX C.L. et FOURY C.L. (1994). Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses Potagères, légumes fruit .Tec et Doc Lavoisier, Paris. 563p .

Degrement. (1978). Mémento technique de l'eau, 1236p-8eme ed, 178, relié.

Dinakar N., Nagajyothi P. C., Suresh S., Udaykiran Y. et Damodharam T. (2008). Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing Arachis hypogaea L. seedlings. Journal of Environmental Sciences**. 20,** 199-206.

Durand J. H. (1983). Les sols irrigables, étude pédologique. Ed . Département de géographie de l'université de Paris .Sorbonne ,389p.

Elalaoui A. (2007). Fertilisation minérale des cultures. Les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). *Bulletin mensuel d'information et de liaison du Pnta*.Tranfert de technologie en agriculture,

Environ.Sci, 2013, **8** (3), 155-165.

Feller C. (1995). La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahéliennes et soudaniennes. *Agriculture et développement***. 8 ,**35-41.

Guy Atlan M. (2003). Les boues d'épuration leurs perspectives de gestion en Ile de France. Thèse, doctorat, Paris, 128p.

http://espace.inrs.ca/641/1/R000429.pdf

Igoud,S.(2001).Valorisation des boues résiduaires issues des Stations d ´épurations Urbaines par leur épandage dans les plantations forestières .Rev. Energ. Ren. 69-74.

INRS-Eau, (1996). Hydro-Québec.Institut National de la recherche scientifique. Etat de l'art du traitement et de la disposition ou valorisation des boues d'usines d'épuration

Juste, C.(1995).Les micro- polluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d´épurations urbaines. Rapport du ministère de l´agriculture et de la pêche. Ademe– INRA, 207p.

Koller, E.(2004). Traitement des pollutions industrielles, eau, air, sols, boues.Ed.Dunod.424 p.

Korboulewsky, N., Dupouyet, S. et Bonin, G.(2002). Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: carbon, heavy metals, nitrogen, and phosphorous accumulation. J.Environ.Qual. 31, 1522–1527.

Kormanik R. A. (1977). Technologie transfer seminar on sludge handling and disposal

Lassoued N., Bilal E., Rejeb S., Guénole-Bilal I., KhelilM.N. Rejeb N., Gallice F., (2013).

Laumonier R. (1979). Cultures légumières et marichaires Tome III. Ed. JB Bailierre 276p

Mahma SA. (1995). Caractérisation physico –chimique des boues de station d'épuration de Touggourt : Intérêt agricole Thèse d'Ingénieur, ITAS, Ouargla .65p

Mantovi, P., Guido, B. et Giovanni, T.(2005). Reuse of liquid, dewatered and composted sewage sludge on agricultural land: Effect of long term application on soil and crop. J. Water Research 39, 289 –296.

Mench, M., Baize, D.(2004). Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces - mesures pour réduire l'exposition. Courrier de l'environnement de l'INRA no52. 31- 56.

Morel J. L. (1977). Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduaires dans le sol. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy 1, France, p 117.

Morel, J.L., Pierrat, J.C., Guckert, A.(1988). Effet et arrière effet de l´épandage des boues urbaines conditionnées á la chaux et aux chlorures ferriques sur la teneur en métaux d´un maïs. Revue.Agronomie.8 (2), 107- 113.

municipales.Rapport de recherche N° 429, éds. Blais J-F &Sasseville J-L.

Ojeda, G., Alcaniz, J.M. et Ortiz, O. (2003). Runoff and losses by erosion in soils amended withsewage sludge. Land Degrad. Dev. 14 (6), 563–573.

ONAS, (2013). Office National de l'Assainissement. Rapport annuel 2013.http://www.onas.nat.tn/En/fr/image/rapport_2012.pdf

Pascual, I.M., Carmen, A., Carlos, G., Alfredo, Polo. et Manuel Sanchez, D.(2007). Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions.J. Bioressource Technology.98, 29-37.

Reddy P. S. et Veeranjaneyulu K. (1991). Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (Macrotyloma uniflorum Lam.). J. Plant. Physiol. 137, 381-383.

Rejsek F. (2002). Analyse de l'eau : Aspects et réglementaire et technique .Edition Centre Régional de Documentaire technique Pédologique d'Aquitaine. France .358 p.

Schawer, P.S., Wright, W.R. et Paterson, E. (1980). Sluddge- borne heavy metal availability and uptake by vegetable crops under field conditions. J. Environ. Qual. 9(1), 69-73.

Speir,T.W.,Van Schaik,A.P., Loyd-Jones,A.R. et Kettles,H.A. (2003).Temporal response of soil biochemical properties in a pastoral soil after cultivation following high application rates of undigested sewage sludge. J.Biol. Fertil.Soils. 38, 37- 3850

Szabados L., Savoure A. (2009). Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science.**15,** 89-97

Torleif, B.(2001). Effects of liquid and dewatered sewage sludge appied to a scots Pins Stand (Pinus sylvestris) in central sweden. Forest Ecology and management 147, 197-216.

Verdy B. (1975). L'analyse écologique des boues activées. SGETEC.