

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques

## Mémoire de fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Science Agronomique  
Option : Production Végétale

### Thème

Etude des effets de doses de boues résiduaires  
municipales sur les paramètres de développement  
de la tomate *Lycopersicum esculentum* Mill et les  
caractéristiques du sol

Présenté par :

**MENAAM Thafath et SMAIL Alicia**

Devant le jury composé de

Président  
Examineur  
Promoteur  
Co- Promotrice

Mr MERROUKI. K  
Mr. DAOUDI. L  
Mr. CHERFOUH.R  
Mlle HEDJAZ.D

M.C.B – UMMTO  
M.A.A – UMMTO  
M.C.B – UMMTO  
Ingénieur - ITMAS

Année Universitaire : 2020/2021

## *Remerciements*

*Nous remercions, tout d'abord, Dieu tout puissant, qui nous a donné la force et la volonté pour terminer ce travail. A l'issue de ce modeste travail,*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance et nos respects pour notre Promoteur de mémoire **Mr CHERFOUH.R** maitre de conférences pour sa prise en charge, ses conseils précieux, merci pour tout ce que vous avez apporté à nos connaissances.*

*Nos remerciements vont aussi au président du jury **Mr. MERROUKI K**, maitre de conférences, d'avoir accepté de présider et de juger ce travail.*

*Nos remerciements vont également à **Mr DAOUDI L**, maitre-assistant, d'avoir accepté d'examiner ce travail et pour sa participation à ce jury.*

*Nos vifs remerciements vont à **Mr MEZIANI H**, directeur de l'ITMAS de Boukhalfa, de nous avoir accueillis au niveau de l'institut pour réaliser la partie expérimentale de ce travail et l'ensemble du personnel qui nous ont aidé tout au long de l'expérimentation, en particulier Mlle **HADJAZ D**.*

*Nos remerciements s'adressent également à **Mme GHEBBI-SI SMAIL** maitre de conférences, et Mme Lounas ingénieur du laboratoire des sciences du sol.*

*Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# **Dédicaces**

*Ce modeste travail, a été achevé avec l'aide de Dieu le tout puissant, est dédié à tous ceux que j'aime :*

*Mes très chers parents : merci pour vos encouragements, votre dévouement et compréhension et surtout pour tous les efforts que vous faites pour que mes ambitions se réalisent.*

*Mon frère adoré Koceila.  
A ma grande mère maternelle que la garde*

*A ma binôme Alicia et toute sa famille.*

*A tout ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

*Nous remercions également nos amies LIZA et LYDIA*

***Thafath***

# **Dédicaces**

*Ce modeste travail, a été achevée avec l'aide de Dieu le tout puissant, et dédie à tous ceux que j'aime :*

*Mes très chers parents : merci pour vos encouragements, votre dévouement et compréhension et surtout pour tous les efforts que vous faites pour que mes ambitions se réalisent.*

*Mon frère adoré Mounir.*

*A ma binôme Thafath et toute sa famille.*

*A tout ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

*Mes amies et Toute la promotion 2020/2021*

*Nous remercions également nos amies LIZA et LYDIA*

***Alicia***

# Tables des Matières

Liste Des Figures  
Liste des Tableaux

Introduction générale.....	1
<b>Partie I: Synthèse bibliographique</b>	
Chapitre I : Aspects généraux des boues résiduaires.....	3
I.1- Définition d'une boue résiduaire.....	3
I.2- Origine des boues .....	3
I. 2.1-Boues de traitement (boue primaire) .....	3
I. 2.2- Boues de traitement physico-chimique.....	4
I. 2.3- Boues de traitement biologique (secondaire) .....	4
I. 2.4 - Boues mixtes (boues primaires + boues biologiques) .....	4
I.3 - Composition des boues résiduaires.....	4
I.3.1 - Matière organique.....	4
I.3.2- Eléments fertilisants.....	4
I.3.3 – Eléments traces .....	5
I.3.4- Micro-organismes pathogènes .....	5
I.4 - Les propriétés des boues .....	6
I.4.1 - Propriétés physiques des boues .....	6
I.4.1.1 - La teneur en matière sèche .....	6
I.4.1.2 - La teneur en matières volatiles .....	7
I.4.2- Propriétés chimiques .....	7
I.4.2.1- Eléments nutritifs.....	7
I.4.2.2- Teneur en matière organique .....	7
I.4.2.3 - Teneur en azote (N) .....	8
I.4.2.4- Teneur en phosphore (P) .....	9
I.4.2.5- Teneur en potassium (K).....	9

I.4.2.6- Teneur en calcium et magnésium (Ca, Mg) .....	9
I.4.2.7- Teneur en sodium (Na).....	10
I.4.2.8- Teneur en Oligo éléments .....	10
I.4.2.9- Teneur en métaux lourds .....	10
I.5 - Effets des boues résiduelles sur le sol .....	10
I.5.1 - Matières organiques mortes.....	10
I.5.2 - Eléments minéraux .....	11
I.6 - Intérêt agronomique des boues d'épurations .....	11
Chapitre II : la culture de tomate.....	13
II.1 - Origine et historique.....	13
II.2- Situation économique de la tomate .....	13
II.2.1- Dans le monde .....	13
II.2.2- En Algérie .....	14
II.3. - Classification de la tomate .....	15
II.3.1 – Classification botanique .....	15
II.3.2 - Classification génétique .....	16
II.3.2.1 - Variétés fixées .....	16
II.3.2.2 - Variétés hybrides.....	16
II.3.3 - Classification selon le mode de croissance .....	16
II.3.3.1 - Variété à croissance indéterminée.....	16
II.3.3.2 - Variétés à croissance déterminé .....	17
II.3.2 - Description botanique du plant de tomate.....	17
II.3.2.1 - Appareil végétatif .....	17
II.4 - Exigences pédoclimatiques .....	21
II.4.1 - Exigences climatiques.....	21

	II.4.1.1- Température de l'air.....	21
	II.4.1.2- Humidité.....	21
	II.4.1.3- Lumière .....	22
	II.4.2- Exigences pédologiques .....	22
	II.4.2.1- Nature du sol .....	22
II.5	- Cycle biologique de la tomate .....	23
	II.5.1- Germination.....	23
	II.5.2- Croissance .....	23
	II.5.3- Floraison.....	23
	II.5.4- Pollinisation.....	23
	II.5.5- Nouaison.....	24
	II.5.6- Maturation .....	24
II.6	- Conduite de la culture.....	24
	II.6.1 – Aération .....	24
	II.6.2- Irrigation.....	24
	II.6.3- Effeuilage .....	25
	II.6.4- Ébourgeonnage.....	25
	II.6.5 – Binage .....	25
	II.6.6- Désherbage .....	26
	II.6 7 – Récolte .....	25

## Partie II: Matériel et méthode

I – Site expérimental .....	26
-----------------------------	----

II. Données climatiques régionales .....	26
II.1. Humidité de l'air.....	26
II.2 – Température.....	27
II.3 – Pluviométrie.....	27
III – Sol.....	28
III.1 - Caractéristiques physiques du sol .....	29
III.2 - Caractéristiques chimiques du sol.....	29
IV – Boues.....	29
V- Déroulement de l'expérimentation .....	30
V.1-Préparation des pots .....	30
V.2- Plantation de la tomate .....	31
V.3- Dispositif expérimental .....	32
V. 4 - Chronologie de l'expérimentation.....	33
V.4.1 – Repiquage .....	33
V.4.2 – Binage.....	34
V.4.3 – Désherbage .....	34
V.4.4 - Ebourgeonnage et l'effeuillage .....	34
V.4.5- Irrigation.....	35
V.4.6- Aération de la serre .....	35
V.4.7 - Traitements phytosanitaires .....	35

V.5. Paramètres analytiques .....	37
V.5.1 – Paramètres édaphiques .....	37
V.5.1.1 - pH du sol .....	37
V.5.1.2 - Conductivité électrique .....	38
V.5.2- Paramètres agronomiques.....	39
V.5.2.1 - Diamètre finale de la tige principale (mm) .....	39
V.5.2.2 - Nombre de fleurs par plants .....	40
V.5.2.3- Nombre de fruit par plants .....	40
V.5.2.4 - Calibre moyen d'un fruit (mm) .....	40
V.5.2.5 - Poids moyen d'un fruit (g).....	41
V.5.2.6- Hauteur de la tige (cm).....	41
V.5.2.7- Longueur des racines (cm) .....	41
V.5.2.8- Matière sèche (g).....	42
V.5.2.9- Récolté des fruits.....	43

### Partie III: Résultats et discussion

I- Introduction .....	44
II- Paramètres agronomiques.....	44
II.1-Hauteur final du plant (cm) .....	44
II.2-Diamètre final du collet (mm).....	45
II.3-Longueur final de la racine (cm) .....	46

II.4- Nombre de fleurs .....	47
II.5- Nombre de fruits.....	49
II.6- Rendements en fruits .....	50
II.7- Calibre du fruit (mm) .....	52
II.8- Matière sèche.....	53
II.8.1- Matière sèche des parties aériennes (g).....	53
II.8.2- Matière sèche souterraine (g) .....	54
III- Paramètres édaphiques .....	55
III.1- Conductivité électrique de la solution du sol.....	55
III.2- Potentiel Hydrogène Ph -eau .....	57
Conclusion générale et perspectives.....	59
Références bibliographiques	

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Système racinaire de la tomate.....	17
<b>Figure 2</b> : Tige de la tomate.....	18
<b>Figure 3</b> : Feuille de tomate.....	18
<b>Figure 4</b> : Fleur de tomate .....	19
<b>Figure 5</b> : Coupe transversale (a) longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité .....	20
<b>Figure 6</b> : Fruit de la tomate .....	20
<b>Figure 7</b> : Différents stades du fruit de tomate .....	24
<b>Figure 8</b> : Localisation par satellite de la station agricole de Boukhalfa.....	26
<b>Figure 9</b> : Parcelle échantillonnée de l'ITMAS.....	28
<b>Figure 10</b> : Illustration de l'échantillon des boues résiduelles .....	30
<b>Figure 11</b> : Pot : Unité expérimentale.....	31
<b>Figure 12</b> : Tomate à croissance déterminée variété Q51 .....	31
<b>Figure 13</b> : Site de l'essai, serre au niveau de la ferme de l'ITMAS.....	32
<b>Figure 14</b> : Expérimentation en place.....	32
<b>Figure 15</b> : Illustration de l'opération du mélange boue et sol.....	33
<b>Figure 16</b> : Repiquage des plants de tomate .....	33
<b>Figure 17</b> : Illustration d'effeuillage.....	34
<b>Figure 18</b> : Illustration aération de la serre.....	35
<b>Figure 19</b> : Illustration du traitement des plants de tomate .....	36
<b>Figure 20</b> : Illustration des symptômes observés sur les plants de tomate .....	37
<b>Figure 21</b> : Mesure du pH de la solution du sol .....	38
<b>Figure 22</b> : Mesure de la conductivité électrique .....	39
<b>Figure 23</b> : Mesure du diamètre de la tige .....	40
<b>Figure 24</b> : Illustration des nombres de fleurs .....	40

<b>Figure 25</b> : Illustration du nombre de fruit par plant .....	40
<b>Figure 26</b> : Illustration d'un pied à coulisse .....	41
<b>Figure 27</b> : Mesure de la longueur de la racine .....	41
<b>Figure 28</b> : Mesure du poids des différentes parties (A,B) du plant de tomate .....	42
<b>Figure 29</b> : Illustration de l'étuve .....	42
<b>Figure 30</b> : Illustration des différents calibres de tomate .....	43
<b>Figure 31</b> : Hauteur final des plants de tomate en fonction des doses de boues appliquées .....	45
<b>Figure 32</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur le diamètre final du collet en fonction des doses .....	46
<b>Figure 33</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur longueur de la racine en fonction des doses.....	47
<b>Figure 34</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur le nombre de fleurs en fonction des doses.....	48
<b>Figure 35</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur le nombre de fruits en fonction des doses.....	50
<b>Figure 36</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur le poids du fruit en fonction des doses .....	51
<b>Figure 37</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur le calibre du fruit en fonction des doses.....	52
<b>Figure 38</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur la matière sèche de la partie aérienne.....	54
<b>Figure 39</b> : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur la matière sèche sous- terrine .....	55
<b>Figure 40</b> : Conductivité électrique de la solution du sol .....	56
<b>Figure 41</b> : Potentiel hydrogène pH-eau.....	58

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques agronomiques des boues résiduaires .....	7
<b>Tableau 2</b> : Efficacité comparée boue/ engrais .....	9
<b>Tableau 3</b> : Principaux pays producteurs de tomate au niveau mondiale 2012 .....	14
<b>Tableau 4</b> : Superficie et production de la tomate en Algérie des onze premières Wilaya productrices de tomate.....	15
<b>Tableau 5</b> : Humidité de l'air durant la période de l'essai .....	27
<b>Tableau 6</b> : Température moyenne mensuelle durant le cycle de la plante.....	27
<b>Tableau 7</b> : Pluviométrie mensuelle enregistré durant le cycle de la plante .....	28
<b>Tableau 8</b> : Résultats des analyses granulométriques du sol .....	29
<b>Tableau 9</b> : Résultats des analyses chimiques du sol .....	29
<b>Tableau 10</b> : Résultats des analyses chimiques des boues .....	30
<b>Tableau 11</b> : Chronologie des traitements phytosanitaires réalisés .....	36
<b>Tableau 12</b> : Hauteur final (cm) de la tige comparée au témoin.....	44
<b>Tableau 13</b> : Diamètre final (mm) du collet.....	46
<b>Tableau 14</b> : Longueur final (cm) de la racine.....	47
<b>Tableau 15</b> : Nombre de fleurs en fonction des doses .....	48
<b>Tableau 16</b> : Nombre de fruit en fonction des doses.....	49
<b>Tableau 17</b> : Poids total du fruit en fonction des doses .....	51
<b>Tableau 18</b> : Calibre du fruit en fonction des doses.....	52
<b>Tableau 19</b> : Matière sèche de la partie aérienne .....	53
<b>Tableau 20</b> : Matière sèche de la partie sous-terrainne .....	54
<b>Tableau 21</b> : Conductivité électrique de la solution du sol .....	56
<b>Tableau 22</b> : Potentiel hydrogène pH-eau.....	57.



## ABREVIATIONS

**°C:** Degré Celsius

**Ca:** calcium

**CE:** Conductivité électrique

**CEC:** Capacité d'échange cationique

**cm :** Centimètre

**Cu:** Cuivre

**D:** Dose

**DA :** dinar Algérien

**DBO :** Demande biologique en oxygène

**DCO :** Demande chimique en oxygène

**FAO:** Food and Agriculture Organization

**FTU:** Formazin Turbidity Unit

**g :**gramme.

**ha:** Hectare

**ITMAS :** Institut Technique Moyen Agricole Spécialisé en Agriculture de Montagne

**K:** Potassium

**m<sup>2</sup> :** mètre carré

**m<sup>3</sup> :** Mètre cube

**MADRPM :** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rurale et de la Pêche

**MES:** matière en suspension

**Mm:** millimètre

**Mg:** Magnésium

**MO:** matière organique

**MS:** Matière sèche

**MVS % :** matière volatile sèche

**N:** Azote

**Na:** Sodium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:** Azote ammoniacal

**ONA** : Office National de l'assainissement

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : l'acide phosphorique

**P** : pluviométrie

**pH**: Potentiel d'hydrogène

**Q** : Quintaux

**T** : Témoin

**t**: Tonne

**μS**: Micro siemens

**STEP**: Station d'épuration

## Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est une contribution à l'étude des effets provoqués par les boues résiduelles récupérées de la station d'épuration des eaux usées urbaines issue de l'ONA pont de bougie de la ville de Tizi-Ouzou sur la croissance végétative et le rendement des cultures. Des doses croissantes de 5,5, 11, 22, 44 et 88g (doses équivalentes à 5t/ha, 10t/ha, 20t/ha, 40t/ha et 80t/ha) de boues. L'expérimentation effectuée dans des pots sous serre au niveau de l'ITMAS de Boukhalfa sur une culture de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill de variété hybride (Q51) à croissance déterminée.

Les analyses menées au laboratoire ont porté sur les principaux paramètres agronomiques : mesure des hauteurs des plants, diamètre du collet, longueur des parties racinaires, nombre de bouquets floraux, nombre de fruits, rendement, calibre des fruits et matière sèche. Les paramètres physico-chimiques déterminés sur les extraits aqueux 1/5 sont le pH et la conductivité électrique.

Les doses D4 et D5 ont donné les meilleurs résultats par rapport au témoin pour les paramètres agronomiques tels que : Diamètre final du collet, nombre de fleur, nombre de fruit, poids du fruit, rendement et matière sèche. Comme il a été constaté aussi une variabilité des effets en fonction des différentes doses sur le développement de la culture.

En termes de production de matière sèche, la culture a donné de meilleurs résultats de poids des parties aériennes 76% et racinaires 70% dans les traitements D4 et D5.

Globalement, les gains en rendements comparativement à la dose D1 sont très important allant de 50 à 300%. Ceci indique que les apports progressifs de boues ont un effet positif sur les performances de la tomate. Sur le sol, l'augmentation de la dose s'exprime par une augmentation de la quantité d'éléments nutritifs mis à la disposition de la culture de tomate. Ceci constitue un paramètre favorable à un meilleur développement végétatif et des récoltes plus importantes.

Les valeurs du pH mesurées sont comprises entre 7.69 et 7.84. Le pH au niveau de la dose D4 est neutre (7.77), et pour les traitements D1, D2, D3, D5 et le témoin il est légèrement alcalin. Ceci ne présente pas de contrainte particulière à la nutrition minérale de la tomate.

Les mesures de la conductivité électrique (CE) révèlent que les boues de la STEP du pont de bougie ne présentent aucun risque de salinisation des sols agricoles. Les valeurs au niveau des sols amendés sont comprises entre 300 et 400 $\mu$ S/cm.

**Mots clés :** doses de boues, variété hybride Tomate, croissance déterminée, matière sèche, rendement.

## ABSTRACT

The aims of the study was the effects of the residual sludge produced from the urban wastewater treatment plant of the ONA Pont de bougie in the city of Tizi-Ouzou on the vegetative growth and yield of crops. Increasing doses of 5.5, 11, 22, 44 and 88g (doses equivalent to 5t/ha, 10t/ha, 20t/ha, 40t/ha and 80t/ha) of sludge were used. The experiment was carried out in pots under green house at the ITMAS of Boukhalfa on a tomato *Lycopersicon esculentum* Mill crop of hybrid variety (Q51) with determinate growth.

The analyses carried out in the laboratory concerned the main agronomic parameters: measurement of plant heights, crown diameter, length of roots network, number of flower, number of fruits, fruit weight, yield and dry matter. The physico-chemical parameters determined on the 1/5 aqueous extracts were pH and electrical conductivity.

Doses D4 and D5 gave the best results compared to the control treatment for agronomic parameters such as: final diameter of the crown, number of flowers, number of fruits, fruit weight, yield and dry matter. As it was also found that there was variability in the effects of different doses on the development of the tomato crop.

The dry matter production, tomato performed better in terms of shoot system 76% and root weight 70% in treatments D4 and D5.

Overall, the yield gains compared to D1 were very high, ranging from 50 to 300%. This indicates that progressive sludge applications have a positive effect on tomato performance. On the soil, the increase in dose is expressed by an increase in the amount of nutrients available to the tomato crop. This is a favorable parameter for better vegetative development and higher yields.

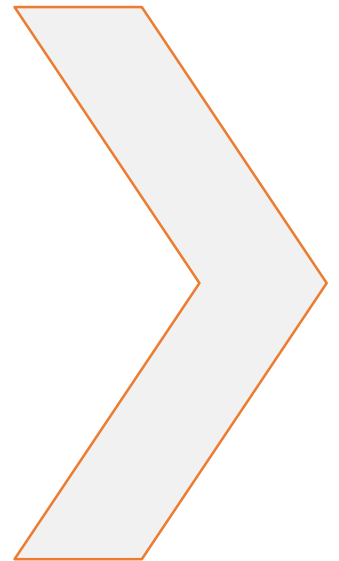
The pH values measured were between 7.69 and 7.84. The pH at D4 is neutral (7.77), and for treatments D1, D2, D3, D5 and the control it is slightly alkaline. This does not present any particular constraint to the tomato mineral nutrition.

The electrical conductivity (EC) measurements reveal that the sludge from the pont de bougie STEP does not present any risk of soil secondary salinization. The values in the amended soils are between 300 and 400 $\mu$ S/cm.

**Key words:** sludge doses, hybrid tomato variety, determinate growth, dry matter, yield.

**INTRODUCTION**

**GENERALE**



L'utilisation des matières organiques est une pratique très ancienne. On en retrouve la trace dans plusieurs textes de l'Antiquité comme "l'Odyssée" d'Homère ou "les Géorgiques" de Virgile. Jusqu'à Liebig et sa démonstration de la nutrition azotée minérale des plantes en 1840, cette matière était une ressource principale, permettant à l'agriculteur d'améliorer la fertilité du sol pour produire de la biomasse végétale (**Abiven, 2005**).

La valorisation des déchets organiques en agriculture constitue une alternative prometteuse, d'un point de vue agronomique et environnemental. Cette option est utile pour les sols agricoles des régions méditerranéennes caractérisés par leurs faibles teneurs en matières organiques (**Lahmar et Ruellan, 2007 ; Halitim, 1988**).

Par ailleurs, la baisse de la productivité des terres dans la plupart des pays d'Afrique résulte de deux facteurs : la demande importante des populations (**FAO, 2000**) et les mauvaises pratiques de gestion des terres entraînant par la suite un épuisement en éléments nutritifs des sols (**Henao et Baanante, 2006**).

Face à ces enjeux socioéconomique et environnemental, il devient impératif de chercher d'autres sources de nutriments pouvant permettre une agriculture durable et atteindre des rendements satisfaisants. Aussi, force est de reconnaître que l'emploi des engrais synthétiques est limité essentiellement par le prix exorbitant et croissant sur le marché.

Dans le secteur du traitement des eaux usées l'Algérie a consenti un effort considérable, il existe actuellement plus d'une centaine de stations d'épuration. Les boues issues de l'épuration des eaux noires sont riches en matières organiques et constituent aussi une source d'éléments essentiels aux cultures : le phosphore, le potassium, le magnésium et les oligo-éléments (**Cherfouh et al., 2021 ; Igoud 2001; Benmoffok, 1994**).

Plusieurs travaux signalent qu'un apport d'amendement organique est une alternative de gestion des cultures visant à réduire l'utilisation des engrais. Ces amendements améliorent la qualité (la fertilité et la structure) du sol, anticipent sur les risques de pollution environnementale et augmentent la récolte et les rendements (**Cherfouh et al., 2018 ; Benmoffok, 1994**).

Cette étude a été menée en vue de déterminer la dose optimale de boues qui rentabilise la culture de tomate à sur le sol d'une parcelle de texture argileuse au niveau de l'ITMAS de Boukhalifa. Nous avons testé cinq doses de boues et mesures des paramètres agronomiques pour évaluer la réponse de la culture de tomate, ainsi que des paramètres exprimant l'évolution des propriétés du sol. Notre travail s'inscrit dans le cadre de la contribution de la valorisation des

boues résiduaires municipales, issues de la partie Est de la ville de Tizi-Ouzou. .

Le choix de la culture de tomate est justifié par l'intérêt des différentes politiques de développement agricole portées par de nombreux programmes mis en place par le ministère de l'agriculture visant un meilleur développement de la filière, par l'amélioration de sa conduite culturale, les systèmes d'irrigation modernes, choix des variétés résistantes et la couverture des besoins en éléments fertilisants. C'est dans ce contexte aussi que nous menons ce présent travail qui consiste à évaluer l'effet des boues résiduaires sur une variété de tomate à croissance déterminée.

A l'issue de cette introduction, notre manuscrit est structuré en deux parties :

Une partie bibliographique qui comprend deux chapitres :

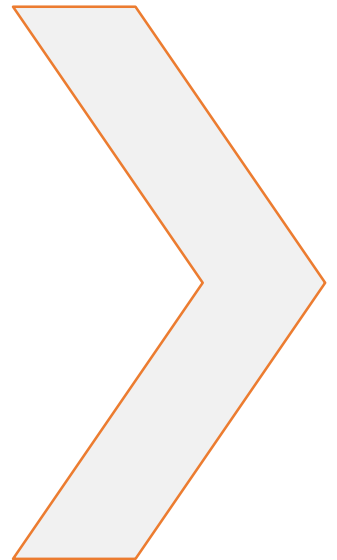
- Le premier présente les boues résiduaires.
- Le deuxième présente la plante de tomate.

La deuxième partie concerne la partie expérimentale qui comprend deux chapitres :

- Le premier est relatif au matériel et méthodes utilisés, l'objectif de l'étude ainsi que la conduite expérimentale ;
- Le deuxième consiste en la présentation et la discussion des résultats obtenus.

Le document se termine par une conclusion générale et des perspectives.

SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE



## I. Aspects généraux des boues résiduaires

### I.1- Définition d'une boue résiduaire

Les boues résultent de différents traitements de transformation de la matière de séparation solide-liquide, thermique, etc. on distingue plusieurs types de boues : de vidange (égout), d'épuration (issue de la STEP), de production industrielle, de lavage des minerais, etc.

Les boues sont des déchets résultants d'une épuration d'eaux usées d'origine domestiques ou industrielles. Elles sont composées d'eau et de matière sèche dont les quelles se trouvent des éléments polluants et les métaux lourds. Plusieurs auteurs montrent que les boues sont riches en matière organique et en éléments fertilisants comme l'azote et le phosphore, elles présentent un intérêt certain dans le domaine agricole (**Arthur, 1999 ; Adler, 2002 ; Jardé, 2002 ; Guy, 2003**).

### I.2- Origine des boues

L'appellation des différents types de boues résulte de la combinaison de plusieurs critères, nous citons notamment :

- Nature de l'effluent (urbain, laiterie, abattoir, papeterie, ...)
- Caractéristique du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique)
- Procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage)
- Etat physique des boues (liquide, pâteux, solide, pulvérulent, granulé)
- Type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugeuse, table d'égouttage, ...).

Les principaux types de boues proposés au recyclage en agriculture sont les suivants :

#### I. 2.1-Boues de traitement (boue primaire)

Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées, elles présentent des concentrations élevées en matières minérale (sable, terre .....) mais aussi en matière organique peut évoluer (**Emillian, 2004**).

### **I. 2.2- Boues de traitement physico-chimique**

Selon **Jarde en 2002**, ces boues sont issues de l'agglomération des matières organiques particulières ou colloïdales contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les acides et les bases, les sulfates d'aluminium ou de fer, les chlorures ferreux ou ferrique.

### **I. 2.3- Boues de traitement biologique (secondaire)**

Ces boues résultent de l'activité vitale des microorganismes, elles ont une structure floculée et sont séparées dans des décanteurs secondaires; dans les filtres biologiques (lits bactériens). Il s'agit de boues de lits bactériens prélevées dans les décanteurs secondaires dans les bassins de boues activées. La plus grande partie est recerclée dans les bassins comme boues de retour et seules les boues en excès sont évacuées (**Emillian, 2004**)

### **I. 2.4 - Boues mixtes (boues primaires + boues biologiques)**

C'est le mélange de boues primaires et de boues activées ou provenant de lit bactérien (**Emillian, 2004**)

## **I.3 - Composition des boues résiduaires**

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratiqués dans les stations d'épurations. (**Werther et Ogada, 1999 ; Jarde et al ., 2003 ; Singh et al ., 2004**). Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N, P, ...etc.), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes)

### **I.3.1 - Matière organique**

La concentration en matière organique (MO) peut varier de 30 à 80 % de la matière sèche (MS). La MO des boues est constituée de matières particulières éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi

que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation). (**Kakii et al., 1986 ; Inoue et al., 1996 ; Ademe, 2001 ; Jarde et al., 2003**).

### **I.3.2 - Eléments fertilisants**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception du potassium. Les éléments en traces métalliques tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux. (**Zebarth et al., 2000 ; Su et al., 2004 ; Warmanet et al., 2005**). A faibles doses ces éléments métalliques sont considérés comme des oligo-éléments indispensables aux cultures (**Cherfouh et al., 2018 ; Cherfouh et al., 2021**).

### **I.3.3 – Eléments traces**

Les éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, chrome, ...) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se classer dans la catégorie des éléments chimiques inorganiques, présentent de la toxicité à trop fortes doses (**Chang et al., 1992 ; Cripps et al., 1992**). En effet, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. À noter aussi que les éléments, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Phthalates, Polychlorobiphényles (PCB), etc.) peuvent se trouver en concentrations en général de l'ordre de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matière sèche (MS). (**Lega et al., 1997; Pérez et al., 2001**)

### **I.3.4 - Micro-organismes pathogènes**

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épurations. Seule une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux (**Sahlström et al., 2004**)

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine du milieu qu'elles traversent : les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. (**Sahlström *et al.*, 2004**) Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost. De ce fait, d'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture. (**Garrec *et al.*, 2003**)

### **I.4 - Les propriétés des boues**

#### **I.4.1 - Propriétés physiques des boues**

A la sortie de la station d'épuration, les boues renferment beaucoup d'eau. Des procédés mécaniques ou thermiques permettent d'éliminer une partie de l'eau et prendre l'un des états physiques suivants :

- Liquide : avec un pourcentage de matière sèche de 2 à 10 %
- Pâteuse : d'une teneur en matière sèche de 15 à 25 %
- Solide : avec un pourcentage de matière sèche de 25 à 50 %
- Poudre : avec un pourcentage de matière sèche de plus de 85 %

La phase liquide des boues contient ; en quantité moins d'éléments valorisables que la phase solide. Il ne faut cependant pas la considérer comme inutile pour la valorisation agricole. En effet, les procédés de déshydrations, entraînent des dépenses parfois importantes qui se répercutent sur le coût de la boue mise à la disposition de l'agriculteur.

Par ailleurs, la boue liquide peut s'épandre facilement à l'aide de matériel courant (Camion-citerne) alors que l'épandage de boues pâteuses par exemple, nécessite un matériel souvent spécialisé (**Glemas, 1980**)

##### **I.4.1.1 - La teneur en matière sèche**

Il s'agit de mesurer le poids du résidu sec après chauffage à (105 °C) jusqu'au poids constant, on l'exprime généralement en pourcentage, celui-ci varie de 3 à 8 % de matière sèche (**Jaroz, 1985**).

### I.4.1.2 - La teneur en matières volatiles

On mesure cette teneur par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550 °C, cette teneur varie de 60 à 85 % des matières sèches. (**Jaroz, 1985**).

## I.4.2 - Propriétés chimiques

### I.4.2.1 - Eléments nutritifs

Les boues contiennent certains éléments utiles à la croissance des plantes, il s'agit des teneurs en azote total, phosphore (exprimé en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), potassium (exprimé en K<sub>2</sub>O) et le Mg, il s'agit des substances qui favorisent la croissance des plantes et donc qui ont une très grande importance pour l'utilisation agricole des boues, soit par épandage directe, soit par compostage avec les ordures ménagères.

**Tableau 1** : Caractéristiques agronomiques des boues résiduaires urbaines (**Boutin, 1982**)

Eléments	Azote	Phosphore	Potassium	Matière Organique
<b>Boues fraîches</b>	3.5 / 4.5	2 / 3	0.5 / 1	60 / 80
<b>Boues digérées</b>	2 / 2.5	1 / 2	0.2 / 0.5	40 / 65

### I.4.2.2 - Teneur en matière organique

Par tonne de matière sèche, une boue à 6 % de matière sèche contient à peu près autant de matière organique (carbone) qu'un fumier, mais sa nature est différente. Dans le fumier, elle est constituée de lignine et de la cellulose, dans les boues, ce sont des corps microbiens et des produits de métabolisme. Il s'agit donc de carbone organique contenu essentiellement dans la phase solide qui se transforme dans le sol en matière organique stable peu ou lentement biodégradable (**Glemas, 1980 ; Debba, 1998**).

Les effets de matière organique transformée en humus dans le sol sont multiples :

- Amélioration de la structure et la stabilité du sol.

- Equilibre le bilan humique du sol
- Facilité de travail du sol
- Réchauffement du sol
- Rétention d'eau
- Fourniture progressive d'éléments nutritifs
- Stimulation de l'activité biologique

La fraction humique (ou coefficient humique) des boues urbaines est estimée à 20 % de matière organique et peut atteindre 40 % ; ce qui signifie qu'une tonne de matière sèche de boue apporte au sol 200 Kg d'humus ou plus (**Glemas, 1980 ; Vade Mecum, 1990 ; Debba, 1998**).

#### **I.4.2.3 - Teneur en azote (N)**

L'azote est un élément auquel le rendement de la production végétale est le plus sensible tant par excès que par défaut, ce qui fait qu'il est l'un des éléments qui permet de valoriser le plus de boue (**Debba, 1998**). L'azote se trouve dans des boues sous différentes formes plus ou moins rapidement assimilables par la plante. L'azote de la matière en suspension est essentiellement organique, celui contenu dans la phase liquide est souvent sous forme minérale représentée par l'ammonium (10 % de l'azote total) ou nitrate (**Glemas, 1980 ; Vade Mecum, 1990**).

Selon **Glemas (1980)**, en moyenne une tonne de matière sèche contient de 40 à 60 Kg d'azote dont la moitié peut être minéralisée la première année et donc utilisée par les plantes le reste diminuée de la quantité d'azote volatilisée minéralise les années suivantes. Donc les doses d'apport seront définies en tenant compte de l'indice d'efficacité de la boue, c'est à dire de son aptitude à libérer l'azote de la première année. Le tableau 02 détermine l'efficacité des différentes boues comparée à celle d'un engrais azoté.

**Tableau 2:** Efficacité comparée boues / engrais (Vade Mecum, 1990)

Produits	Indice
Ammonitrate	100
Boues du type laiterie, liquide	60 à 90
Boues urbaines liquide, stabilisées ou digérées	40 à 50
Lisier	40 à 50
Boues urbaines solides, stabilisées ou digérées	20 à 25
Fumier de ferme	20 à 25
Compost urbain	5 à 10

#### I.4.2.4 - Teneur en phosphore (P)

Le phosphore des boues représente de 3 à 8 % de matière sèche. Il se trouve pour l'essentiel dans la phase solide des boues sous forme minérale et peut donc être assimilé rapidement par les plantes, le taux d'assimilabilité est donc de l'ordre de 60 à 80 % (Glemas, 1980, Pommel, 1981 et Vade Mecum, 1990). Le phosphore qui n'est pas utilisé immédiatement le sera ultérieurement, car il est bien fixé par le complexe adsorbant.

#### I.4.2.5 - Teneur en potassium (K)

En règle générale, les boues sont pauvres en potassium (en valeurs moyennes de 0,5 % des matières sèches) qui n'est pas retenu lors du traitement des eaux résiduaires et même l'épandage de fortes doses de boues ne dispense pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

#### I.4.2.6 - Teneur en calcium et magnésium (Ca, Mg)

Les boues contiennent du calcium en quantité appréciables : 0,2 à 1,5 % de CaO de la matière sèche dans les boues liquides et de 2 à 20 % de CaO de la matière sèche dans les boues solides (Anred, 1982 in Debba, 1998, Vade Mecum, 1990).

Les boues contiennent aussi du magnésium mais à un degré moindre de 0,4 à 1 % de la matière sèche.

#### **I.4.2.7 - Teneur en sodium (Na)**

Le sodium est présent dans les boues à des quantités faibles (0,4 % de la matière sèche en moyenne). Cependant, les teneurs apportés en cet élément ne seraient pas de nature à entraîner des effets préjudiciables au niveau de la structure des sols fragiles en cas d'épandages raisonnés (**Morel *et al.*, 1978 in Debba, 1998**).

#### **I.4.2.8 - Teneur en oligo-éléments**

Les éléments métalliques et métalloïdes, présents dans les boues proviennent essentiellement des eaux d'égout. Ces éléments sont liés en totalité à la phase solide de boues (**Glemas, 1980**). Certains de ces éléments à de faible concentration nécessaire à la production végétale et leur présence dans les boues est plutôt favorable. L'apport de boues contenant ces éléments sera alors utile dans le cas où les sols en seront carencés ou pour compenser l'exportation par les végétaux.

Mais dans la mesure où leur teneur reste supérieure à certains seuils au-delà desquels ils deviennent toxiques pour les végétaux, pour les animaux et l'homme ou simultanément pour les végétaux et les animaux. (**Glemas, 1980 ; Guicherd, 1982**).

#### **I.4.2.9 - Teneur en métaux lourds**

Les métaux lourds tels que le plomb, le mercure, cadmium, chrome et nickel apportés par les eaux usées industrielles, par les eaux pluviales et dans une moindre mesure les eaux usées domestiques ne sont pas utiles dans les sols et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites car ils contamineraient alors les sols et les plantes (**Debba, 1998**).

### **I.5 - Effets des boues résiduaires sur le sol**

#### **I.5.1 - Matières organiques mortes**

Une des raisons qui explique les changements de la composante biologique dans un système de culture du sol est la présence de ressources nutritionnelles différentes en quantité et en qualité par rapport à un système de culture sans amendement du sol. Comparé à un sol non

amendé, les teneurs en azote et carbone organiques augmentent en présence de boues, dans les horizons superficiels (**Pekrun *et al.*, 2003 ; Cherfouh *et al.*, 2018**).

Plusieurs publications scientifiques montrent une nette accumulation de matières organiques en surface s'accompagne de leur diminution en profondeur. Cette stratification des matières organiques résulte principalement du maintien d'une quantité élevée de résidus en surface d'un sol amendé (**Rasmussen, 1999 ; Tebrügge et Düring, 1999**).

### **I.5.2 - Eléments minéraux**

L'amendement du sol en boues conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation sans addition (**Follett et Peterson, 1988 ; Edwards *et al.*, 1992**). D'un autre côté, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (**Pekrun *et al.*, 2003**).

### **I.6 - Intérêt agronomique des boues d'épurations**

En général les boues d'épuration sont utilisées en agriculture comme engrais c'est-à-dire comme produit capable de fournir aux cultures des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et à leur développement. En outre certaines boues d'épurations compostées ou traitées à la chaux peuvent jouer un rôle d'amendements ce qui signifie qu'elles permettent d'entretenir ou d'améliorer la structure du sol, son activité biologique ou, encore de contrôler son acidité (**Morel, 1978**).

L'effet direct de la matière organique contenue dans les boues conçoit une amélioration des propriétés physico-chimiques des sols, augmentation de la capacité d'échange cationique, amélioration de la perméabilité, stabilité des agrégats et de la densité (**Kirkham, 1974**). Certaines expérimentations ont montré qu'une amélioration de la perméabilité et de la stabilité structurale serait obtenue après un apport de 10 t/Ha de matière sèche de boue et ceci pendant plusieurs années (**Kofoed, 1984**) ; Les boues contiennent les éléments majeurs et secondaires utiles à la croissance des plantes. Contrairement aux éléments minéraux apportés par les engrais de synthèse, et qui sont directement utilisables,

L'apport des boues peut affecter les rendements des cultures, (**Cherfouh, 2019**) a enregistré dans la deuxième année de son travail après un épandage de boue à des doses croissantes, une augmentation du poids des tubercules de pomme de terre par rapport au témoin.

Les résultats obtenus par **Fethallah (1991)**, sur la tomate et la laitue rejoignent ceux de **Sarac (1980)**, il signale l'obtention d'un poids racinaire maximale après épandage des boues à des doses de 20, 30, et 50 t/ha, ainsi qu'une amélioration du rendement en fruit (feuille de laitue).

La perméabilité du sol augmente significativement dans les parcelles enrichies en boues (**Morel, 1978**) ; la richesse en matière organique des boues améliore le bilan hydrique et ce par accroissement de la réserve en eau utile. **Gomez et al., (1984)**, ont observé qu'un apport de boue à faible dose ne modifie pas la capacité d'échange cationique (CEC); il ne se produit d'augmentation de la CEC que dans les traitements à forte dose.

Un apport de boue accroît la teneur de calcium dans le sol (**Hurt, 1985**), les teneurs en calcium d'un compost d'origine urbaine peuvent atteindre 7% de la matière sèche.

## II. La culture de tomate

### II.1 - Origine et Historique

La tomate d'espèce (*Lycopersicum esculentum* Mill.) est d'origine des Andes d'Amérique du Sud, au Sud de la Colombie au Nord du Chili et de la côte pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). Elle fut domestiquée au Mexique puis introduite en Europe au 16<sup>ème</sup> siècle par les Espagnoles avant même la pomme de terre et le tabac (Shankara, 2005). Chaux et Foury (1994), rappellent que le genre *Lycopersicum* comprend neuf espèces dont une seule espèce *Lycopersicum esculentum* pourrait être à l'origine de nos variétés. Elle arrive d'abord en Espagne puis très vite en Italie et gagne le reste de l'Europe.

En Algérie ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné les conditions qui lui sont propices. Sa consommation a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (Latigui, 1984).

### II.2 - Situation économique de la tomate

#### II.2.1 - Dans le monde

Selon les dernières données de la **FAQ stat (2014)** (agence statistique de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), la production mondiale de la tomate a atteint 170 millions de Tonnes.

Les données de l'année 2014 (tableau 3) montrent que la Chine est à la tête de production de la tomate, atteignant 52 586.86 millions Tonnes, elle produit à elle seule 30.97 % du total mondial. Alors que l'Égypte se place en 5<sup>ème</sup> avec une production de 82 880.04 millions de Tonnes (FAQ, 2014).

**Tableau 3:** Principaux pays producteurs de tomate au niveau mondial pour l'année 2012

<b>Le pays</b>	<b>Superficie cultivée (ha)</b>	<b>Production (T)</b>	<b>Rendement (T/ha)</b>	<b>%</b>
<b>Chine</b>	1 005 003.00	50 125 055.00	49.87	30.98
<b>Inde</b>	870 000.00	17 500 000.00	20.11	10.82
<b>Etat Unis</b>	150 140 .00	13 206 950.00	7.96	8.16
<b>Turque</b>	300 000.00	11 350 000.00	37.83	7.02
<b>Egypte</b>	216 395.00	8 625 219.00	39.85	5.33
<b>Iran</b>	160 000.00	6 000 000.00	37.50	3.71
<b>Italie</b>	91 850.00	5 131 977.00	55.87	3.17
<b>Espagne</b>	48 800.00	4 007 000.00	82.11	2.48
<b>Brésil</b>	63 859.00	3 873 985.00	60.66	2.39
<b>Mexique</b>	96 651.00	3 433 567.00	35.52	2.12
<b>Monde</b>	4 803 680.17	161 793 834.18	33.68	100

Source : FAO, 2014.

## II.2.2 - En Algérie

La production nationale de tomate maraichère n'a cessé d'augmenter depuis l'année 2000, les données statistiques ont révélé une hausse de production pour atteindre 10 656 093 Qtx en 2014 soit une augmentation de 32.04% par rapport à l'année 2000, alors que les superficies consacrées à cette culture étant de 16 710 ha l'année 2000 et 22 646 ha l'année 2014, et les rendements ont plus que doublé en passant de 204.3 Qtx/ha en 2000 à 470.6 Qtx l'année 2014.

Sur la base des données statistiques de l'agriculture de l'année 2014 la wilaya de Biskra occupe la première place dans la production de la tomate à l'échelle nationale, avec une production atteignant près de 3 millions de Qtx. Alors que la wilaya de Tizi-Ouzou réalise seulement 35 000 Qtx.

**Tableau 4:** Superficies et production de la tomate en Algérie des 11 premières wilaya productrices de tomates

WILAYA	Superficies (ha)	Production(Qtx)	Rendement Qtx/ha
BISKRA	2 088	2 845 871	1362.97
TIPAZA	1 571	1 001 560	637.53
MOSTAGANEM	2 541	926 996	364.82
ALGER	1 391	742 060	533.47
EL-OUED	1 228	611 000	497.56
CHLEF	837	539 360	644.40
AIN TEMOUCHENT	637	282 445	443.40
TLEMCEN	935	271 000	289.84
SOUK AHRAS	570	245 412	430.55
ADRA	1 043	235 335	225.63
BOUMERDES	510	225 500	442.16
TOTAL ALGERIE	22 646	10 656 093	470.55

Sources :MDRP, 2014

### II.3. - Classification de la tomate

#### II.3.1 – Classification botanique

La tomate appartient à la famille des Solanacées. **Cronquist (1981), Gaussen et al.,(1982)**, rappellent que la tomate appartient à la Classification suivante :

**Règne :** Plantae.

**Sous règne :** Trachenobionta.

**Division :** Magnoliophyta.

**Classe :** Magnoliopsida.

**Sous classe :** Asteridae.

**Ordre :** Solanales.

**Famille :** Solanaceae.

**Genre :** *Solanum ou Lycopersicom*

**Espèce :** *Lycopersicom esculentum Mill.*

### II.3.2 - Classification génétique

La tomate cultivée, *Lycopersicon esculentum* Mill est une espèce diploïde à  $2n=24$  chromosomes. Il existe de très nombreux mutants mono géniques, dont certains sont très importants pour la sélection. Sa carte chromosomique compte actuellement 235 genes localisés avec précision (**Gallais et Bannerot, 1992**).

La structure de la fleur de tomate assure une cléistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature (**Publishers, 2004**). Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux types de variétés.

#### II.3.2.1 - Variétés fixées

Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservent les qualités parentales). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (**Polese, 2007**).

#### II.3.2.2 - Variétés hybrides

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (**Polese, 2007**). On peut citer :

Cornabel F1 (amélioration d'andine cornue), Maestria F1 (ronde savoureuse et résistante)  
Previa F1 (précoce et résistante), Pepe F1 (cerise, productive et sucrée)

### II.3.3 - Classification selon le mode de croissance

Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques. A cet effet, ces dernières peuvent être classées selon leur mode de croissance (la formation des feuilles, inflorescences et bourgeons) (**Mikanowski et Mikanowski, 1999**) qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé

#### II.3.3.1 - Variété à croissance indéterminée

Ce sont les plus nombreuses. Elles continuent de pousser et de produire des bouquets floraux, tant que les conditions sont favorables. Comme leur développement est exubérant, leur

tige doit être attachée à un tuteur, sous peine de s'affaisser au sol. Il est également nécessaire de les tailler et de les ébourgeonner régulièrement. Elles ont une production plus échelonnée et plus étalée. Elles sont plus productives en général que les tomates à port déterminé. Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel, ou régulée et en taillant les plantes (Mikanowski et Mikanowski, 1999). La plupart des cultivars disponibles sont des variétés à croissance indéterminée.

### II.3.3.2 - Variétés à croissance déterminé

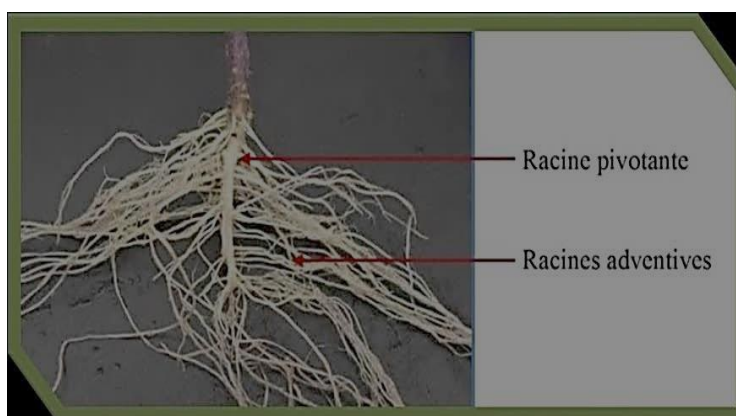
Ce sont des variétés naines. Leur croissance s'arrête une fois la plante a produit un nombre déterminé de bouquets de fleurs (en général trois ou quatre). C'est dans ce type de tomate que l'on trouve, le plus souvent, les variétés industrielles de conserverie, cultivées en plein champ. Pour ce type de croissance également, on retrouve des variétés fixées et des hybrides. Ce caractère déterminé est intéressant pour les cultures précoces et pour les cultures industrielles (**Besford et Maw, 1975**)

## II.3.2 - Description botanique du plant de tomate

### II.3.2.1 - Appareil végétatif

#### a- Racines

Le système racinaire est puissant, très ramifié à tendance fasciculée (**Chaux et Foury, 1994**). Il est de type pivotant important qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus (Fig1). La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices (**Shankara et al, 2005**).



**Figure 1** : Système racinaire de la tomate (**Naika et al, 2005**).

**b- Tiges**

Elles sont vertes, épaisses aux entre-nœuds. Elles disposent de deux types de poils blanchâtres : des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle, qui donne l'odeur de la tomate et la coloration verte (**Kolev, 1976**). Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Une tige peut porter de nombreuses ramifications (appelées axillaires) et a une croissance indéterminée ou déterminée selon les variétés.



**Figure 2** : Tige de tomate (**Naika et al, 2005**).

**c- Feuilles**

Selon **Choux et Fourry (1994)**, les feuilles sont alternées, disposées en spirale sur la tige, de 15 à 50 cm de long et de 10 à 30 cm de large, composées de 05 à 07 folioles principales et d'un certain nombre de petites folioles intercalaires. Le pétiole mesure entre 03 et 06 cm.



**Figure 3** : Feuille de tomate (**Naika et al, 2005**).

#### d- Fleurs

Les fleurs de la tomate sont des organes bisexués. Elles sont hermaphrodites et autofécondes et regroupées sur le même pédoncule en bouquet lâche en inflorescence formant des grappes plus ou moins bifurquées de 3 à 8 fleurs chez les variétés fixées et au-delà chez les hybrides. Le tube du calice est court et velu, comporte 5 sépales, il est persistant après la fécondation et subsiste au sommet du fruit. Androcée comporte 5 étamines latérales, les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil ; celui-ci est constitué de deux carpelles soudés formant un ovaire super biloculaire à 2 loges et à placenta central (**Dore et Varoquaux, 2006**) ; (**Judd et al, 2002**). En général la formule florale de la fleur est la suivante : 5 sépales + 5 pétales + 5 étamines + 2 carpelles (fig4). (**Rey et Costes, 1965**).

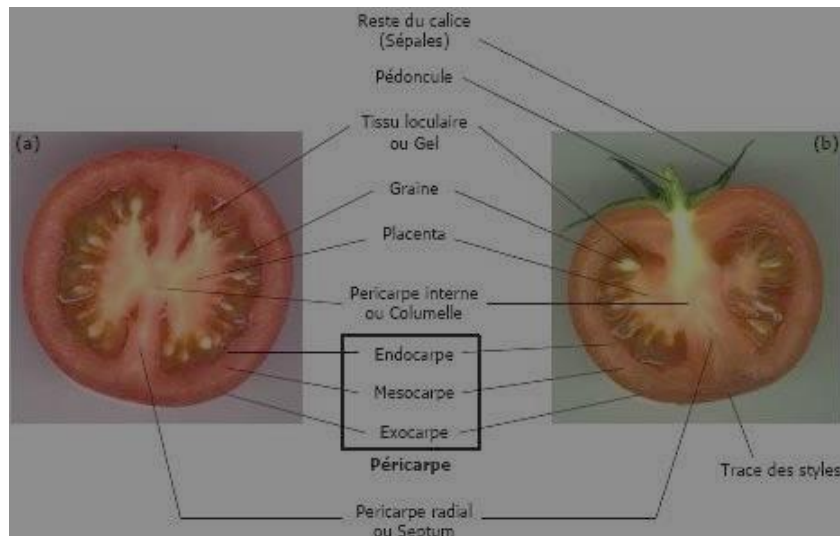


**Figure 4 : Fleur de tomate (Originale, 2021).**

#### e- Graines

Les graines sont nombreuses, réparties dans des loges remplies de gel (fig5). En forme de rein ou de poire, poilues, beiges, de 3 à 5 mm de long et de 2 à 4 mm de large. Elles sont recouvertes d'un mucilage, L'embryon est enroulé dans l'albumen. Le poids de mille graines est en moyenne de 3 g (**Shankara, 2005 ; Naika et al, 2005**).

Le cycle de la graine à la graine, est variable selon les variétés et les conditions de culture, il est en moyenne de 3.5 à 4 mois (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit) (**Gallais et Bannerot, 1992**).



**Figure 5 :** Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité  
(Gillapsy *et al.*, 1993)

#### f- Fruit

D'après SHANKARA N, (2005) le fruit de la tomate est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (Fig6).



**Figure 6 :** Fruit de la tomate (Originale, 2021)

## II.4 - Exigences pédoclimatiques

### II.4.1 - Exigences climatiques

Selon **Chaux et Foury(1994)**, trois facteurs essentiels interviennent de façon variable aux différents stades de développement de la plante : Température de l'air et du sol, intensité et durée d'éclairement et l'Hygrométrie de l'air

#### II.4.1.1 - Température de l'air

Selon **MADRPM/DERD (1999)**, la culture de tomate réagit aux variations thermique, les basses températures (<10°C) ralentissent la croissance et le développement des plantes, entraînant la formation d'un feuillage important au détriment de la production, comme elles peuvent entraîner la ramification des bouquets, difficulté de nouaison et formation de fleurs fasciées.

Par contre les températures élevées favorisent la croissance de la plante au détriment de l'inflorescence qui peut avorter, la persistance de températures chaudes et d'une atmosphère sèches peut entraîner un allongement anormal du pistil rendant ainsi une autopollinisation difficile. Les températures optimales sont :

- Températures diurne 20 – 25°C
- Températures nocturnes 13 -17°C
- Températures du sol 14 -18 °C.

#### II.4.1.2 - Humidité

Le plant de tomate est très sensible à l'hygrométrie, elle ne tolère pas les sols engorgés d'eau. Une hygrométrie relativement ambiante de 60 à 65% est la meilleure pour la fécondation. En effet, lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est fortement lié aux fortes humidités accompagnées de la chaleur (**Laumonier, 1979**).

### II.4.1.3 - Lumière

La tomate préfère les situations bien ensoleillées et ne présente pas d'exigences photopériodiques très marquée. Durant les 4 à 6 semaines qui suivent le semis, les fortes intensités lumineuses favorisent le raccourcissement de l'axe et l'introduction du premier bouquet, surtout à température basse. Pendant la floraison, une forte intensité lumineuses favorise la pollinisation et régularise la croissance du style, surtout lorsque la température du substrat est élevée (**Chaux et Foury ,1994**).

### II.4.2 - Exigences pédologiques

#### II.4.2.1 - Nature du Sol

##### a- Structure et texture

La tomate n'est pas exigeante en sol. Elle se cultive presque sur tout type de sols, depuis les terrains d'alluvions jusqu'aux terres argileuses les plus lourdes, la teneur d'argile pouvant varier de 10 à 40%. Tout en évitant les sols trop battants, mal structurés en profondeurs et asphyxiants. Les sols légers perméables, meubles, profonds et riches en humus conviendraient parfaitement à la culture de tomate (**Chaux, 1994 et Laumonnier, 1979**).

##### b- pH du sol

La tomate est une culture indifférente au pH du sol. Le rendement varie peu avec la variation du pH. Cependant, sur des sols à pH basique ( $\text{pH} > 7$ ) certains microéléments restent peu disponible à la plante (Fe, Mn, Zn, Cu), La carence la plus fréquente est celle du fer. Dans ce cas une correction en ferre est nécessaire (**MADRPM/DERD, 1999**).

##### c- Salinité du sol

La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis à vis de la salinité. Lorsque la conductivité électrique (CE) est de 4 mmhos /cm, soit une salinité de 2,5 g/l de sels totaux, le rendement baisse de 10 %. Cependant, la baisse du rendement peut atteindre 25 % à une salinité de l'ordre de 4 g/l (**MADRPM/DERD, 1999**).

## II.5 - Cycle biologique de la tomate

### II.5.1 - Germination

La germination des graines de tomate correspond au stade de levée de la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement. La germination chez la tomate est épigée. A ce moment une température ambiante d'environ 20C° et une humidité relative de 70 à 80 % sont nécessaires (**Chaux Foury ,1994**).

### II.5.2 - Croissance

Selon l'**Aumonier (1979)**, la croissance du plant de tomate se déroule en deux phases et dans des milieux milieux différents.

- **En pépinière** : de la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque l'apparition des racines non fonctionnelles et des pré-feuilles.
- **En plein champ** : après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance, la tige s'épaissit et augmente son nombre de feuille.

### II.5.3 - Floraison

Selon **Rey et Coste (1965)**, c'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif à l'état reproducteur.

A un certain moment de la croissance de la plante qui dure environ 1mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur. Ces fleurs étaient des boutons floraux .La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante, car celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre, en plus d'un apport équilibré en éléments minéraux.

### II.5.4 - Pollinisation

La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui est capable de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen (**Chaux et Foury, 1994**).La libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques.

### II.5.5 - Nouaison

Selon **Rey et Costes (1965)**, le temps écoulé entre la pollinisation et la fécondation à température normale est de 2 à 3 jours . L'ovaire grossit et le fruit atteint sa maturité dans 49 à 53 jours après pollinisation.

### II.5.6 - Maturation

La maturation des fruits est caractérisée par le changement de la couleur vert au rouge. La lumière intense permet la synthèse active de la matière organique qui est transportée rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour (**Rey et Costes, 1965**)



**Figure 7 : Différents stades du fruit de tomate (originale, 2021)**

## II.6 - Conduite de la culture

### II.6.1 - Aération

Une aération matinale est toujours nécessaire pour renouveler l'air de la serre. L'aération de la serre est indispensable à chaque fois que la température avoisine les 25°C. Ceci permettra d'éliminer les excès d'humidité et de la chaleur, qui favorisent le développement des maladies cryptogamiques (**ITCMI, 2015**).

### II.6.2 - Irrigation

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4000 et 5000 m<sup>3</sup>/Ha (**ITMCI, 2015**). Cependant, trois phases physiologiques correspondant à des besoins en eau différents sont à distinguer :

- **De la plantation à la 1<sup>re</sup> floraison** : phase de croissance lente, les besoins en eau sont peu élevés.
- **De la floraison à la maturation** : phase de croissance rapide, les besoins en eau sont élevés.
- **En fin de récolte** : phase de vieillissement les besoins en eau sont réduits (ITMCI, 2015).

### II.6.3 - Effeillage

L'effeuillage consiste à supprimer une partie du feuillage du plant notamment, les feuilles âgées jaunâtres ou apparemment malades il permet aux tomates de murir plus vite en favorisant une meilleur aération et une meilleur pénétration du soleil, surtout pour les variétés à feuillage abondant (Polese ,2007).

### II.6.4 - Ebourgeonnage

La tomate sous serre est conduite à un ou à deux bras, donc il faut procéder à la suppression de tous les bourgeons axillaires à un stade précoce (MADRPM /DERD, 1999).

### II.6.5 - Binage

Cette opération est effectuée durant presque tout le cycle végétatif, afin d'assurer l'aération et de réduire le tassement du sol (MADRPM /DERD, 1999).

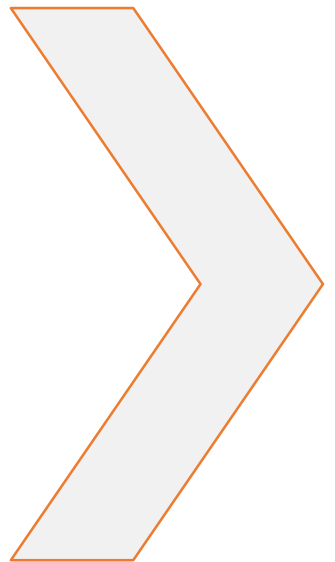
### II.6.6 - Désherbage

Le désherbage consiste à limiter le développement des adventices ou mauvaises herbes, pour réduire leur nuisibilité sur les plantes cultivées (MADRPM /DERD, 1999).

### II.6 7 - Récolte

La récolte de la tomate se fait manuellement et peut s'échelonner sur plusieurs mois. Le stade de récolte est fortement tributaire de la variété, des conditions climatiques, de la destination et des moyens de transport

# MATERIEL ET METHODES



## I – Site expérimental

L'essai est réalisé à l'ITMAS (Institut Technique Moyen Agricole Spécialisé) situé dans la localité de Boukhalfa en zone de montagne (200 -300 m d'altitude) à cinq Km au Nord-Ouest de la ville de Tizi-Ouzou, qui est implantée sur une superficie de 30,13 ha (fig8). Sur le plan géographique, le centre est limité au Nord : par la route menant vers Tigzirt ; au Sud par l'exploitation agricole SBAlHI ; à l'Est par la route reliant Boukhalfa à la ville de Tizi Ouzou et à l'Ouest : par la route reliant Boukhalfa à Draa Ben Khedda.



**Figure 8** : Localisation par satellite de la station agricole de Boukhalfa (Google Earth ,2021)

## II. Données climatiques régionales

### II.1. Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air est un facteur écologique important (Dajoz, 2006). Durant la période végétative l'humidité doit être maintenue entre 70 et 80% (Chaux et Foury, 1994).

La région de Tizi-Ouzou est caractérisée par un degré hygrométrique assez élevé tout au long de l'année. Le tableau 5, montre que l'humidité moyenne de l'air la plus élevée est observée au mois de Mai et Juin 55.35%, tandis que la plus faible a été au mois d'Avril et en moyenne 40%.

<https://fr.tutiempo.net/climat/07-2021/ws-603950.html>

**Tableau 5:** Humidité de l'air durant la période de l'essai.

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet
Humidité (%)	40	58.9	51.8	46

Source : <https://fr.tutiempo.net/climat/07-2021/ws-603950.html>

## II.2 - Température

Le tableau 6, fait apparaître que durant la campagne agricole (essai) 2021, les températures maximales sont enregistrées durant les mois de juin et Juillet, qui sont respectivement de 31,9 C° et 44 C°. Quant aux températures minimales, elles sont enregistrées pour les mois d'Avril et Mai et qui sont respectivement de 21.60 C° et 27 C°.

**Tableau 6:** Température moyennes mensuelles durant le cycle de la plante.

Mois	A	M	J	J
T max (C°)	21.6	27	31.9	44
T min (C°)	11.9	15.6	19.9	29
T moy (C°)	17.8	22.9	27.5	35

Source : <https://fr.tutiempo.net/climat/07-2021/ws-603950.html>

## II.3 - Pluviométrie

Au cours du cycle de la plante, la répartition de la pluie est irrégulière. On a noté que le mois le plus pluvieux (tableau 7) au niveau de notre essai est le mois de Mai avec une quantité de 38.61 mm. Durant le cycle de la culture (du mois d'Avril jusqu'au début du mois de Juillet), nous avons enregistré une somme de précipitations de 65.77 mm, le manque d'eau au cours du cycle de la plante est remarquable.

**Tableau 7:** Pluviométrie mensuelle enregistrée durant le cycle de la plante

Mois	A	M	J	J
P (mm)	11.92	38.61	15.24	0

Source : <https://fr.tutiempo.net/climat/07-2021/ws-603950.html>

### III – Sol

Le sol utilisé, provient de la couche arable (0-30cm) d'une parcelle de l'ITMAS au niveau du verger d'agrumes. Nous avons soumis un échantillon représentatif de ce sol à une analyse complète qui a donnée des caractéristiques physiques et chimiques.



**Figure 9 :** Parcelle échantillonnée de l'ITMAS (Originale, 2021)

### III.1 - Caractéristiques physiques du sol

**Tableau 8:** Résultats des analyses granulométrique du sol (Hedjaz et Hadj Larbi, 2017).

Paramètres	Résultats	Observation
Argile (%)	29.55	Selon le triangle GEPPA la texture du sol est limono-argileuse (sol lourd)
Limon fin (%)	29.75	
Limon grossier(%)	28.40	
Sable fin (%)	15.35	
Sable grossier	3.05	

### III.2 - Caractéristiques chimiques du sol

**Tableau 9 :** Résultats d'analyses chimiques du sol (Hedjaz et Hadj Larbi, 2017).

Caractéristiques chimiques	Résultats	Observation
PH	pH : 7.54	Légèrement alcalin
Salinité	CE : 0.345 ds/m	Non sale
Calcaire	CaCO <sub>3</sub> : 7.95%	Moyennement calcaire
Matière organique	MO : 1.73%	Faible
Azote total	0.003%	Très faible
Capacité d'échange cationique	CEC : 20.50meq/100g	Moyenne
Potassium	0.53meq/100g	Pauvre
Phosphore	64.50 ppm	>22,5 ppm sol bien pourvu

## IV - Boues

Les boues résiduelles ayant fait l'objet de notre étude proviennent de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tizi-Ouzou, conçue en 1980 et mise en marche en 2000. La station d'épuration d'une capacité de 120 000 d'habitants, est située à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou.

**Tableau 10** : Résultat des analyses chimiques des boues (Station d'épuration Boukhalfa, 2021)

Paramètre	Entrée mg/L	Sortie mg/L
Température °C	16.8	16.4
Ph	7.30	7.27
Matière en suspension (MES)	2.10	13
Turbidité (FTU)	2.41	17
Demande chimique en oxygène (DCO)	376.35	67.02
Demande biologique en oxygène (DBO)	360	6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3.55	01
NH <sub>4</sub> *	6.67	1.61
MVS (%)	62.13	-



**Figure 10** : Illustration de l'échantillon de boues résiduaires. (Originale, 2021)

## V – Déroulement de l'expérimentation

### V.1 – Préparation des pots

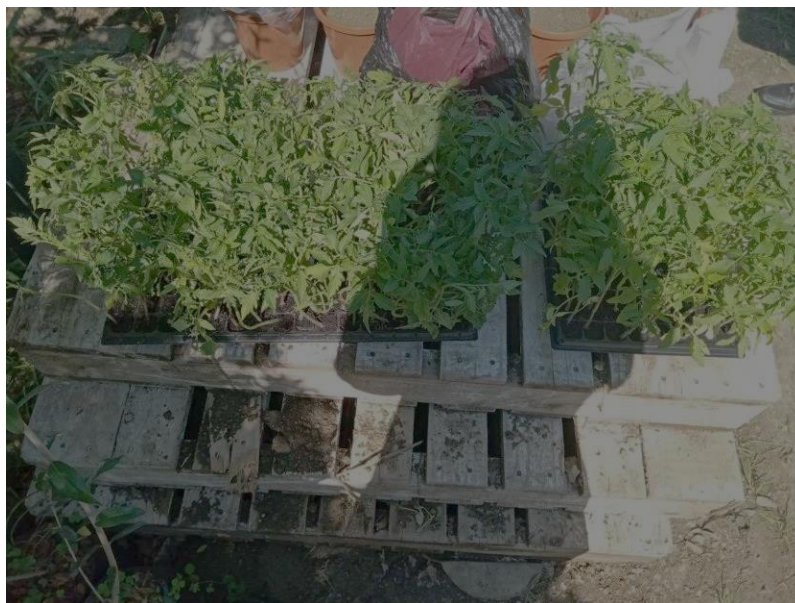
Les pots utilisés sont en plastique, d'un volume de 2L, de 0.011m<sup>2</sup> de superficie. Ils peuvent contenir jusqu'à 2kg de sol, le pot étant l'unité expérimentale



**Figure 11 : Pot : Unité expérimentale (Originale ; 2021)**

## V.2 – Plantation de la tomate

Le matériel végétal utilisé lors de notre essai est une variété de tomate maraîchère sous serre hybride Q51. Les plants de la variété Q51 ont été achetés au niveau de la pépinière de BEN TAYEB avec un prix de 3000DA pour 200plants (15DA/plants).



**Figure 12 : Tomate à croissance déterminée variété Q51 (Originale, 2021)**



**Figure 13** : Site de l'essai, serre au niveau de la ferme de l'ITMAS (Originale, 2021)

### V.3 - Dispositif expérimental

L'essai expérimental a été mené sous une serre au niveau de la pépinière. Nous avons appliqué 5 doses de boues (5 répétitions pour chacune) et un témoin sans apport (5 répétitions). D1=5.5g, D2= 11g, D3= 22g, D4 = 44g, D5= 88g pour un pot d'une surface de 0.011m<sup>2</sup> ; ces doses sont équivalentes sur terrain à 5t/ha, 10t/ha, 20t/ha, 40t/ha et 80t/ha.



**Figure 14** : L'expérimentation en place (Originale, 2021)

Les quantités de boues ont été soigneusement mélangées au sol avant de remplir les pots. Une couche de gravier (1cm) a été mise au fond de chaque pot, avec cinq répétitions pour chaque dose suivant le dispositif expérimental complètement aléatoire incluant le facteur dose à cinq niveaux pour les boues et le témoin

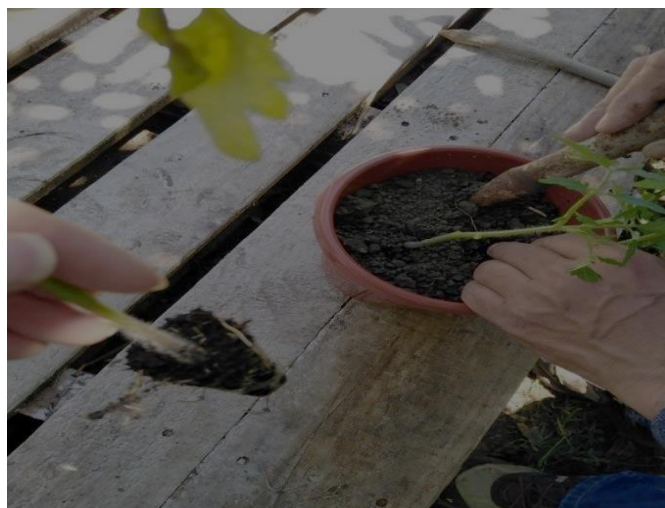


**Figure 15 :** Illustration de l'opération de mélange boue et sol (Originale, 2021)

## V. 4 - Chronologie de l'expérimentation

### V.4.1 - Repiquage

Après une irrigation introductive des pots à l'eau du robinet pour chaque traitement, ayant pour but de ramener le sol à sa capacité au champ. Le repiquage a été effectué manuellement le 19/04/2021 de la même façon pour tous les pots (fig16), avec une densité de 3 plants par pot et répartie uniformément sur la surface. Une irrigation juste après le repiquage a été effectuée, pour évacuer l'air compris entre les particules du sol.



**Figure 16:** Repiquage des plants de tomate (Originale, 2021)

#### V.4.2 - Binage

Le binage est réalisé tout au long du cycle de la plante afin d'aérer et d'ameublir le sol, aussi il permet de détruire la croute de battance, et d'éliminer les mauvaises herbes.

#### V.4.3 - Désherbage

Les conditions favorables sous serre ont entraîné le développement des mauvaises herbes notamment l'ortie, chiendent.

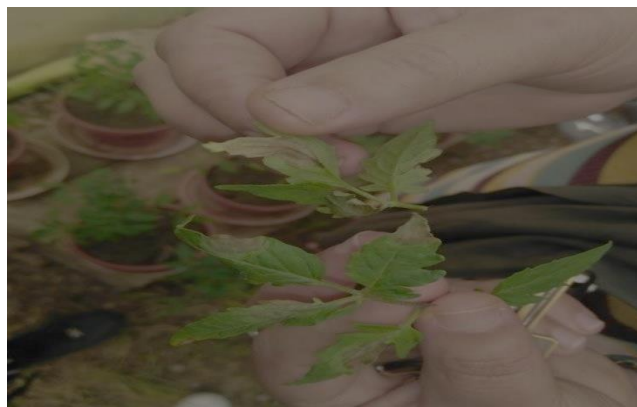
Un désherbage manuel a été effectué continuellement pour éliminer le risque d'apparition des mauvaises herbes.

#### V.4.4 - Ebourgeonnage et effeuillage

Le plant de tomate a la propriété de développer à l'aisselle de chaque feuille des bourgeons latéraux. Ces bourgeons créent de la concurrence pour les éléments minéraux. Comme ils génèrent un milieu favorable au développement des maladies par manque d'aération au tour du plant. Un ébourgeonnage tardif peut engendrer un affaiblissement des plantes.

Il faut procéder à un badigeonnage de la tige au niveau du bourgeon enlevé au risque que des blessures de tige entraînent une porte d'entrée aux maladies. Les feuilles âgées à la base du plant sont enlevées, car elles peuvent être source de maladies en particulier lorsqu'elles sont en contact avec le sol.

L'ébourgeonnage et l'effeuillage permet d'avoir de gros fruits de couleur uniforme, car la concurrence pour les éléments minéraux est réduite et la luminosité est améliorée.



**Figure 17:** Illustration d'effeuillage (Originale, 2021)

#### V.4.5 - Irrigations

Elle a été effectuée à l'aide d'un arrosoir et un gobelet en plastic d'un volume précis pour donner la même quantité d'eau à tous les pots. Des apports d'eau ont été assurés à raison de trois fois par semaine durant la période de croissance. La quantité d'arrosage a été augmentée au cours du mois de Mai- Juin vu les besoins hydriques de la plante.

#### V.4.6 - Aération de la serre

L'aération de la serre joue un rôle essentiel dans la gestion du climat sous serre. A cet effet, elle a pour but d'atténuer les amplitudes thermiques et d'éliminer les excès de températures et d'humidité accumulées à l'intérieure de la serre.



**Figure 18 :** Illustration d'aération de la serre (Originale, 2021)

#### V.4.7 - Traitements phytosanitaires

Malgré l'utilisation des variétés résistantes. Nématodes et aux maladies vasculaires (fusariose et verticilliose), la tomate sous serre demeure sujette aux attaques d'autres maladies et ravageurs occasionnant parfois des dégâts très important. Durant l'essai on a essayé d'éviter au maximum l'emploi des produits chimiques par l'utilisation des méthodes préventives telles que le désherbage dans la serre et l'élimination des feuilles et des fruits malades est fréquentes. Le mildiou qui nous a causé le plus de nuisance dans la serre. Pour cela on a utilisé un traitement fongique.

**Tableau 11** : Chronologie des traitements phytosanitaires réalisés.

Attaques	Stade de la plante	Traitements	Dates	Partie attequée
<b>Mildiou</b>	En plein croissance	Un fongicide : le cuivre bouillie bordelaise (COMAC)	25/04/2021	Les feuilles Les tiges
<b>Jaunissement des feuilles</b>	Début de fructification	Un engrais foliaire N P K : 20.20.20	16/06/2021	Les feuilles

**Figure 19**: Illustration du traitement des plants de tomate (Originale, 2021)**Figure 20** : Illustration des symptômes sur les feuilles de tomate (Originale, 2021)

## V.5. Paramètres analytiques

### V.5.1 – Paramètres édaphiques

Les analyses ont été réalisées dans le laboratoire des Sciences du Sol, département des sciences agronomiques de l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Pour les analyses chimiques, les échantillons de sol étaient séchés à l'air libre, émiettés et tamisés à 2mm et enfin pesée à l'aide d'une balance de précision et conditionnés dans un endroit sec.

#### V.5.1.1 - pH du sol

Le pH est l'une des propriétés chimiques du sol qui peut nous informer sur la biodisponibilité des éléments nutritifs et les risques de toxicité ainsi sur les proportions de cation, sur le complexe argilo-humique (**Devau *et al.*, 2009**). En effet, le pH est un paramètre clé en agronomie et dans la dynamique des sols, il influence sur trois composantes de la fertilité des sols : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale des sols (**Dinont et Gerstmans, 2008**)

Le pH du sol est déterminé à l'aide d'un pH-mètre selon le mode opératoire suivant

- Peser 20g de sol (terre fine.  $\leq 2\text{mm}$ ) dans un bécher de 100 ml
- Ajouter 50ml d'eau distillé, selon le rapport solide/liquide de 1/2.5
- Agiter de temps à autre durant une période de contact de 2h
- Plonger la sonde « Électrode » dans le liquide sur nageant ensuite effectuer la lecture après stabilisation de la valeur affichée.



**Figure 21** : Mesure de pH de la solution du sol (**Originale, 2021**)

### V.5.1.2 - Conductivité électrique

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leurs vitesses de migrations sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus l'électrolyte est dilué, plus la conductivité diminue car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant.

La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance, sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductimètre, et la conductivité s'exprime en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $\text{mS}/\text{cm}$ ,  $\text{dS}/\text{m}$ . La conductivité électrique a été mesurée selon le mode opératoire suivant :

- Peser 10g de sol (terre fine  $\leq 2\text{mm}$ ) préalablement séché.
- Ajouter 50ml d'eau distillée dans un bêcher 100ml.
- Le rapport Sol/Eau à respecter est 1/5.
- Agiter chaque 5min pendants 1h.
- Faire la mesure de la C.E



**Figure 22:** Illustration de la mesure de la conductivité électrique (Originale, 2021)

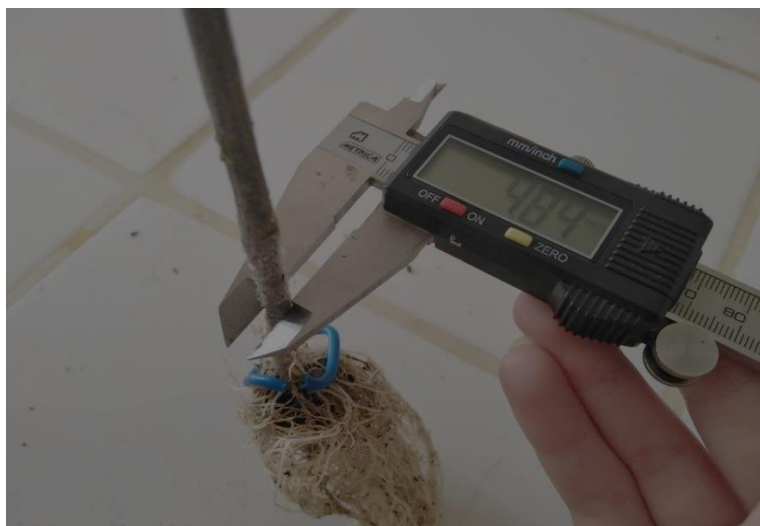
### V.5.2 - Paramètres agronomiques

Ces analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire des sciences du sol

Analyses effectuées	Méthodes suivies
Mesures biométriques	Les mesures biométriques du végétal ont été réalisées au niveau de chaque pot, pour chacune des doses utilisées et pour le témoin (La hauteur et le diamètre de la tige, la longueur des racines, le nombre bourgeons, de fleurs, bouquets floraux et de fruit par plant) et tous sa durant les stades de développement de la plante
Production végétale	-Le poids frais des plants (Partie végétal et partie racinaire) et du fruit -Le poids sec des plants (Partie végétale et partie racinaire) et des fruits -Les poids ont été pesés à l'aide d'une balance de précision

#### V.5.2.1 - Diamètre finale de la tige principale (mm)

Durant l'essai, le diamètre de la tige principale est obtenu en mesurant à l'aide d'un pied à coulisse le collet de la plante. Ce dernier nous renseigne sur la vigueur de la plante.



**Figure 23:** Mesure de diamètre de la tige (Originale, 2021)

#### V.5.2.2 - Nombre de fleurs par plants :

Le nombre total de fleurs par plant est obtenu par comptage des fleurs sur chaque plant.



**Figure 24 :** Illustration des nombres de fleurs (**Originale, 2021**)

#### V.5.2.3 - Nombre de fruits par plants

Le nombre total de fruit par plant est obtenu par comptage des fruits sur chaque plant.



**Figure 25:** Illustration du nombre de fruits par plants (**Originale, 2021**)

#### V.5.2.4 - Calibre moyen d'un fruit (mm)

Le Calibre moyen d'un fruit nous renseigne sur le poids du fruit et de leur teneur en matière sèche. Nous le mesurons au moyen d'un pied à coulisse.



**Figure 26 :** Illustration d'un pied à coulisse (Original, 2021)

#### V.5.2.5 - Poids moyen d'un fruit (g)

Le Poids moyen d'un fruit est le rapport du poids total des fruits sur le nombre total des fruits par Plant.

#### V.5.2.6 - Hauteur de la tige (cm)

On a mesuré la hauteur de la tige depuis le ras du sol jusqu'à l'apex, à l'aide d'une règle graduée

#### V.5.2.7 - Longueur des racines (cm)

A la fin de l'expérimentation, et à l'aide d'une règle graduée, nous avons mesuré la longueur des racines après lavage à l'eau courante.



**Figure 27:** Illustration de la mesure de la longueur de la racine (Original, 2021)

### V.5.2.8 – Matière sèche (g)

La teneur en eau est déterminée en mettant les parties concernées de la plante et des fruits dans l'étuve réglée à 65 à 70°C jusqu'à stabilisation du poids des échantillons. Les mesures ont été faites selon le mode opératoire suivant :

- Séparer les différentes parties de la plante : partie aérienne et souterraine (racine) de chaque plant.
- Peser à l'aide d'une balance de précision tous ces échantillons (fruits, parties aérienne et souterraine).
- Mettre la partie aérienne et souterraine de chaque plant dans des boîtes en aluminium



**A** : partie racinaire



**B** : partie aérienne

**Figure 28:** Illustration de la mesure du poids des différentes parties (A,B) du plant de tomate (Originale, 2021).



**Figure 29 :** Illustration de l'étuve (Originale, 2021)

### V.5.2. 9 – Récolte des fruits

La récolte des fruits a commencé le 29/06/2021

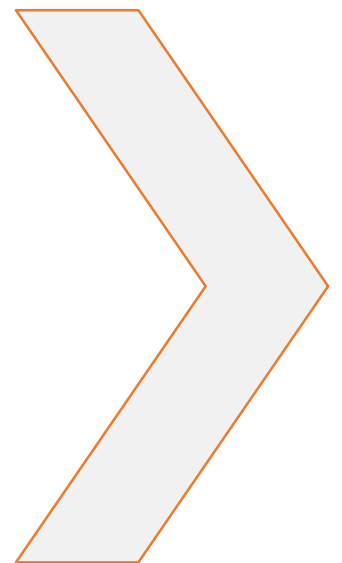
Les récoltes sont échelonnées, comme suite :

- 1<sup>ère</sup> récolte le 29/06/2021
- 2<sup>ème</sup> récolte le 04/07/2021
- 3<sup>ème</sup> récolte le 12/07/2021
- 4<sup>ème</sup> récolte le 13/07/2021



**Figure 30:** Illustration des différents calibres de tomate (Originale, 2021)

**RESULTATS ET**  
**DISCUSSION**



## I. Introduction

L'objectif des observations réalisées dans notre expérimentation est de comparer l'incidence des différentes doses de boues choisies sur les caractéristiques du sol et le développement de la tomate. Nous avons opté pour une analyse par paramètre et la comparaison des valeurs obtenues des doses entre elles et avec le témoin sans apport. Les paramètres choisis sont :

-Au niveau du sol : pH, la Conductivité électrique

-Au niveau de la plante : la hauteur de la tige, la longueur de la racine, le diamètre de la tige, nombre de bouquets floraux par plant, nombre de fleurs par plant, le poids du plant (partie aérienne, partie racinaire) et le taux de matière sèche.

## II. Paramètres agronomiques :

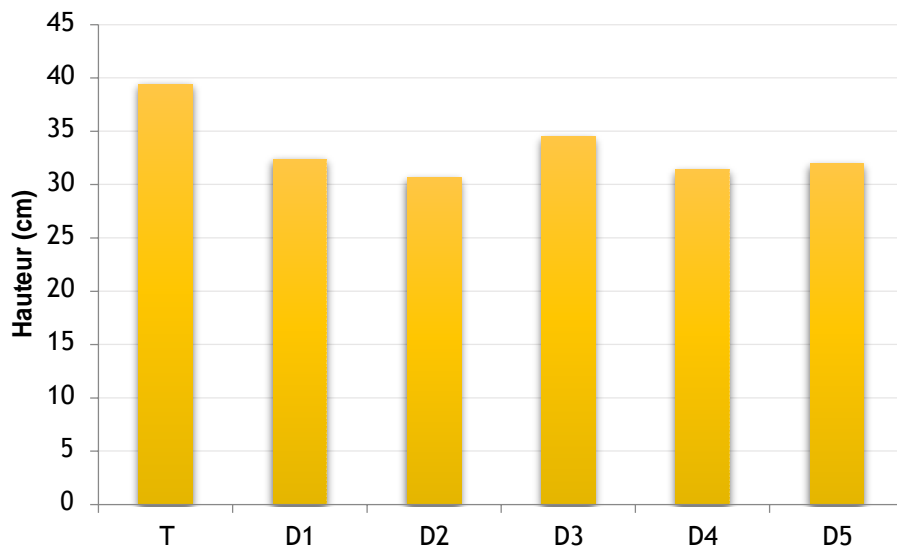
### II.1- Hauteur final du plant (cm)

Le paramètre hauteur n'est pas un facteur pertinent, vu que notre variété de tomate est une variété à croissance déterminée. Le tableau 12 montre que la valeur la plus élevée est obtenue avec le Témoin (**39.4cm**), et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **D.4 (31.4cm)**. Nous constatons sur la figure 31 que l'introduction de la boue dans le sol conduit globalement à une réduction de la croissance en hauteur des plants de tomate. Cette réduction varie entre 12 et 20% comparativement au témoin. Cette observation a été déjà établie par **Bouzou, (2018)** et **Kitabala et al., (2016)** estimant que la relation entre la croissance en hauteur des plants et les doses de boues appliquées est sensiblement linéaire appuyer par l'analyse statistique indiquant une différence non significative entre les traitements.

D'autres parts les différences de hauteur enregistrées peuvent éventuellement être expliquées par la durée limitée de l'essai, l'état de développement et l'état sanitaire des plants. En effet, les plants qui n'ont pas réalisé une fructification importante ont une hauteur de tige plus grande.

**Tableau 12** : Hauteur (cm) final de la tige comparée au témoin

Doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
<b>Hauteur finale</b>	31,4	32	30,6	34,5	39,4	32,4
<b>Réduction p/p Au témoin (%)</b>	20,3	18,8	22,3	12,4	0,0	17,8



**Figure 31:** Hauteur final (cm) des plants de tomates en fonction des doses de boues appliquées.

### I1.2- Diamètre final du collet (mm)

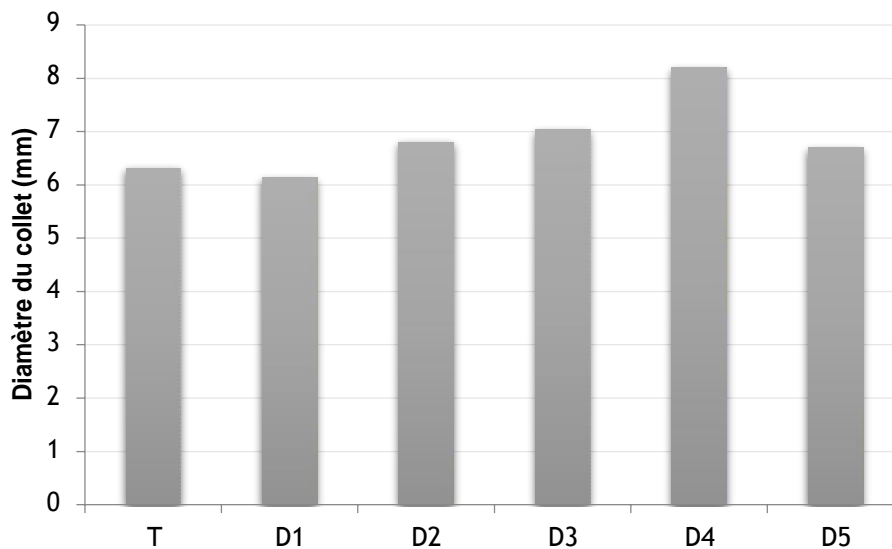
Le diamètre du collet nous renseigne sur la vigueur de la plante. Le Tableau 13 montre que valeurs enregistrés par ce paramètre dans les traitements étudiés. Le diamètre du collet le plus grand est obtenu avec le traitement D4 (8.2mm). Alors que le traitement témoin et D1 sont réduit et sont respectivement 6,3 et 6,1mm. Notons par ailleurs que le diamètre moyen du collet est de 6.86mm, donc semblable à celui enregistré par la dose D2 et D5.

L'examen des différents résultats montre une influence sensible du facteur dose sur ce paramètre. Cette influence pour le facteur dose peut être due à la quantité des éléments minéraux et la texture argileuse du sol. La position de la dose D5 contredit l'allure de la courbe croissante, cela est probablement responsable de contrainte physique et d'antagonisme limitant l'absorption efficace des éléments nutritifs. Cette situation s'explique par le fait que la quantité d'éléments fertilisants apportées par la matière organique va au-delà des besoins de la culture, et il se produit par conséquent une baisse de rendement liée à l'antagonisme entre les éléments nutritifs (Gros, 1967 ; Soltner , 2005).D'autres parts la D4 permet d'obtenir des plantes de tomate les plus vigoureux.

Globalement, nos observations indiquent que les apports croissants de boues ont un effet positif sur le développement du collet des plants de tomates (figure 32). Ce constat confirme les observations de **Kitabala et al., (2016)** dont les données varient entre 0,67 et 0,78 cm, et qui montre que l’augmentation de la doses influence significativement le diamètre du collet.

**Tableau 13 :** Diamètre final du collet (mm)

Doses	T	D1	D2	D3	D4	D5	Moy
Diamètre final du collet (mm)	6,86	6,32	6,14	8,2	6,7	6,802	7,04



**Figure 32:** Effet de l’interaction des différentes doses de boues sur le diamètre final du collet en fonction des doses

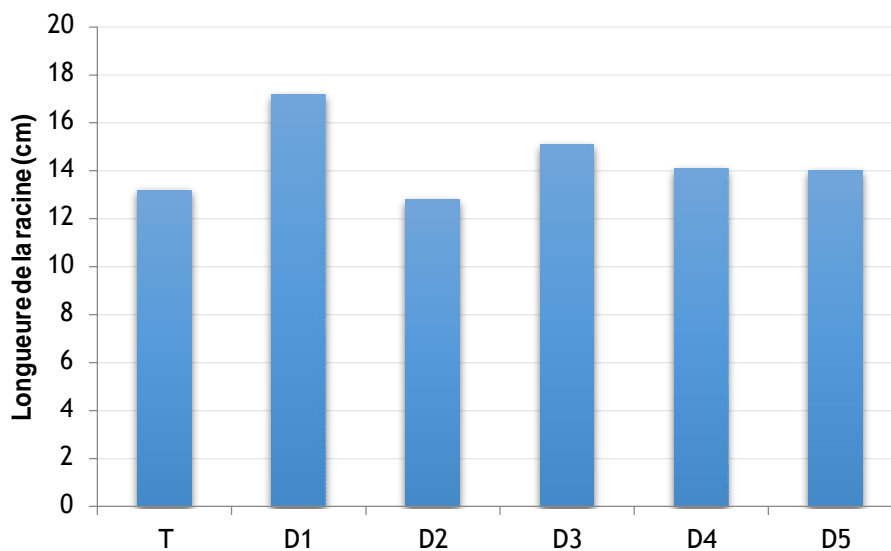
### I1.3- Longueur finale de la racine (cm)

Le développement du système racinaire est un paramètre important pour assurer une alimentation en eau et en éléments minéraux optimal pour la plante. Les valeurs enregistrées sur les plants de tomates pour les différents traitements sont consignés dans le tableau 14. Celui-ci, montre que la longueur varie entre 12,8 et 17,2cm. La longueur la plus importante des racines est obtenue avec le traitement **D1 (17.2cm)** et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **D2 (12.8cm)** inférieure à celle du traitement témoin (**13.2cm**). Les différences

illustrées par la figure 33 supposent un effet notable de la dose de boues sur la croissance en longueur des racines de la tomate. Abstraction faite de la valeur de D2, nous pouvons suggérer que l'augmentation de la dose de boues influe négativement sur la croissance racinaire chez la tomate. Cependant, la valeur enregistrée chez la D1 montre que l'apport de 11g de boue (équivalent à 10 t/ha) est la quantité la mieux indiquée pour une croissance racinaire optimale chez la tomate. Notre résultat va dans le sens de ceux trouvés par **Beldjilali et Zeltissi (2017)** signalant un effet néfaste des concentrations importantes de métaux lourds (Cu) présents dans les boues sur la croissance racinaire de la tomate.

**Tableau 14** : Longueur finale de la racine (cm)

Doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
Longueur de la racine (cm)	13,2	17,2	12,8	15,1	14,1	14



**Figure 33:** Effet de l'interaction de différentes doses de boues sur la longueur de la racine en fonction des doses

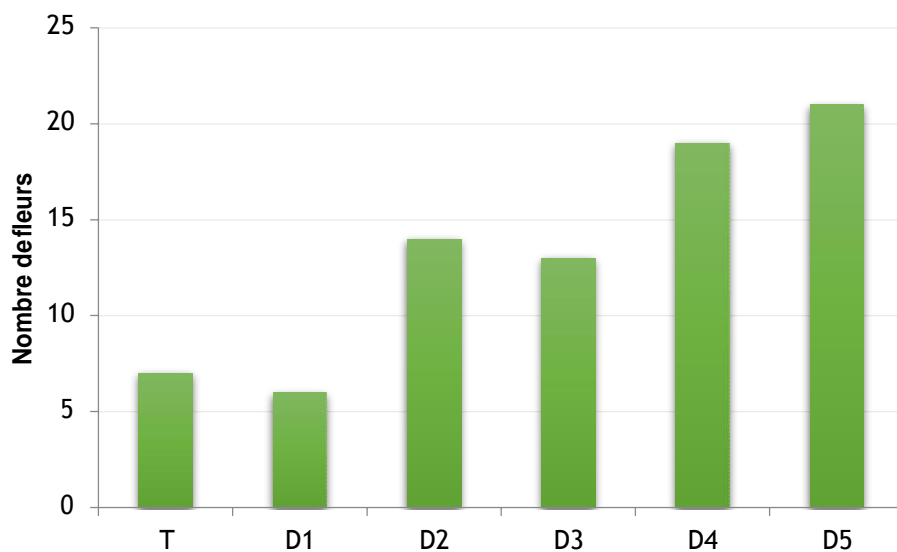
#### 11.4- Nombre de fleurs

Le suivi de la floraison a été fait depuis la sortie des premières fleurs, dans l'analyse des effets des doses nous avons retenu le nombre final de fleurs émis par les plants de l'expérimentation. Le tableau 15 montre que le nombre de fleurs varie en moyenne entre 7 et

21 dans l'expérimentation. Le nombre de fleurs le plus faible est obtenu par le traitement témoin sans boue. Alors que la dose de boues la plus intéressante pour ce paramètre c'est la dose D5. L'analyse des données montre que l'apport de boues sur le sol induit un effet positif sur l'émission des fleurs chez les plants de tomate. L'augmentation de la dose de D1 à D5 a permis d'obtenir près de 3 fois plus de fleurs par plant de tomate, ce qui présage éventuellement un nombre de fruits et un rendement plus important. Notre résultat va dans le sens de ceux trouvés par **Derouiche Fatma (2012)** signalant que l'apport des boues résiduaires influe positivement sur l'émission des fleurs.

**Tableau 15** : Nombre de fleurs en fonction des doses

Les doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
Nombre de fleurs	7	6	14	13	19	21



**Figure 34** : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur le nombre de fleurs en fonction des doses

**I1.5- Nombre de fruits**

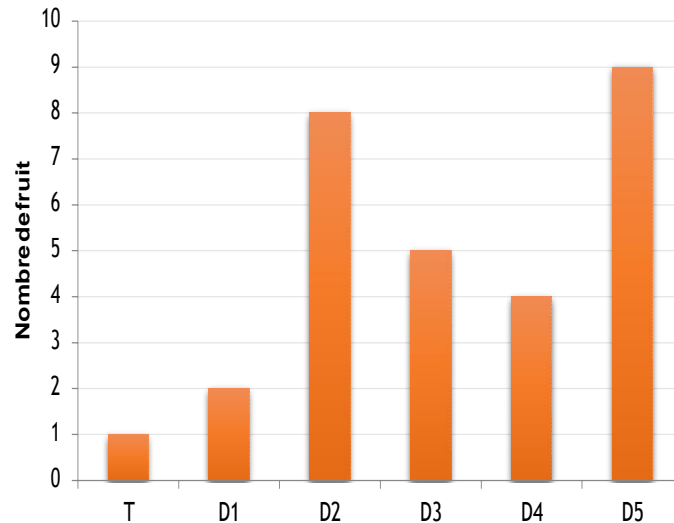
Une fleur de tomate peut s'autoféconder, car elle contient à la fois les organes mâles (étamines renfermant les grains de pollen) et femelles (pistil). Les étamines sont soudées les unes aux autres pour former un cône pollinique qui se referme autour de l'organe femelle situé en son centre. Quand la fleur est mature, à la moindre secousse, due au vent par exemple, les grains de pollen des anthères tombent conduisant à la réalisation de la fécondation de la fleur et la naissance d'un fruit.

A priori les éléments physiques capables d'entraver ce processus sont donc rares. Cependant, les résultats exposés dans le tableau 16 montre des différences entre les doses du nombre de fleurs fécondées en fonction des doses testées et aussi comparativement aux données enregistrées au tableau précédent (Nombre de fleurs). Ces résultats montrent que la totalité des fleurs n'a pas été fécondée. Le nombre de fruits obtenu dans l'expérimentation varie en moyenne entre 1 et 9. Nos observations montrent que les doses de boues ont un effet positif sur le nombre de fruits chez la tomate. Comparativement au témoin, la dose D5 à produit près de 10 fois plus de fruits. Cependant les résultats de D2, D3 et D4 contredisent la linéarité de la relation nombre de fruits et doses de boue. La figure 35 montre une relation avec trois segments : un maximum au niveau de D2 et un autre maximum au niveau de D5.

Ces observations indiquent d'autres facteurs qui sont à l'origine de la chute des fleurs et qui sont indépendants de la dose de boues. Par ailleurs dans la littérature certains auteurs soutiennent que la boue à un effet positif sur les récoltes de tomate (**kassaoui et al., 2009**), alors que d'autres apportent des résultats contradictoires comme ceux publiés par (**Kitabala et al., 2016**)

**Tableau 16** : Nombre de fruit en fonction des doses

Doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
Nombre de fruit	5	4	9	2	8	1



**Figure 35:** Effet de l’interaction de différentes doses de boues sur le nombre de fruit en fonction des doses

La différence peut-être due éventuellement aux conditions climatiques, notamment les températures élevées pendant le mois de Mai, Juin et juillet ou l’effets d’irrigations déjà signalé par **Katerji et al., (2005)**.

### 11.6. Rendement en fruits

Le rendement en fruit est exprimé par la pesée du poids des fruits recueilli de chaque plant de tomate. Le tableau 17 montre les résultats obtenus et qui varie entre 0,73g et 174,7g enregistrés respectivement au niveau du témoin et de D5. Globalement, les rendements obtenus indiquent que les apports progressifs de boues ont un effet positif sur les performances de la tomate. Sur le sol, l’augmentation de la dose s’exprime par une augmentation de la quantité d’éléments nutritifs mis à la disposition de la culture de tomate. Ceci constitue un paramètre favorable à un meilleur développement végétatif et des récoltes plus importantes. Cette observation confirme les résultats obtenus sur terrain par **Kasaoui et al., (2009)**.

Le Poids total le plus important des fruits par plante est obtenu avec le traitement **D5 (174.7148 g)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **D.1 (42.51g)** et le témoin (**0.73g**), la figure 35 illustre ces différences

Nous pouvons noter que le stress hydrique a accéléré la maturation des fruits avant d’atteindre leur plein stade de grossissement qui limitera leur poids par fruit, qui provoque des fruits de

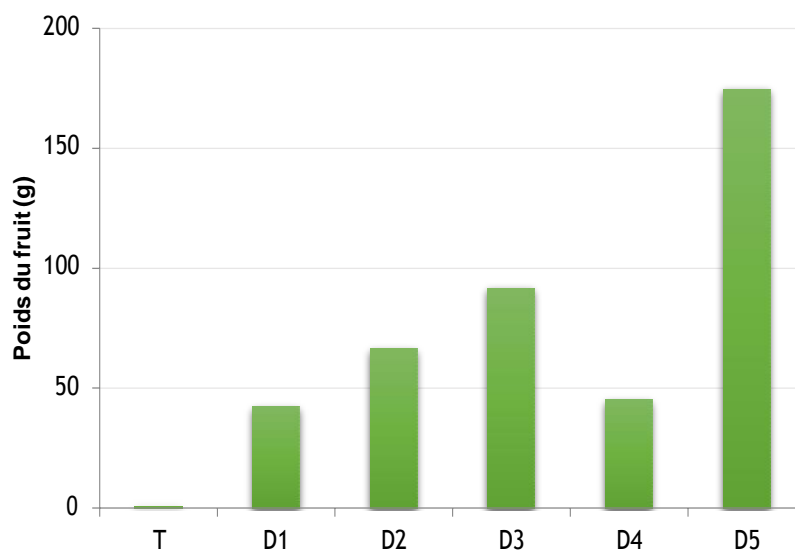
petit calibre (moins gros) ce qui a augmenté le nombre de fruits et qui donne un rendement peu élevé.

**Tableau 17** : Poids total du fruit (g) en fonction des doses

Doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
Poids du fruit (g)	91,74	45,29	174,71	0,73	42,51	66,51
Gain en rendement p/p à D1 (%)	116	7	311	#	00	56

Les boues apportent des quantités appréciables en éléments fertilisants azotés et phosphorés et une importante quantité de matière organique qui permettent de prévoir une amélioration de la fertilité du sol et la biodisponibilité des éléments nutritifs (**Cherfouh et al., 2018**). Cependant, il arrive que des conditions particulières se mettent en place, excès d'humidité, antagonisme entre éléments, minéralisation insuffisante, ... et qui fini par réduire les rendements. Comme dans le cas de la D4, où nous avons une réduction irrégulière du rendement.

La relation rendement-dose de boues est une relation linéaire figure 36, qui montre les boues utilisées présentent peu de contraintes au développement de la tomate. En revanche, on peut affirmer aussi que la variété utilisée présente des potentialités d'adaptation adéquates pour contrecarrer les contraintes physico-chimiques telles que : la salinité, le pH, .... Ainsi les gains en rendements comparativement à la dose D1 sont très important allant de 50 à 300%.



**Figure 36** : Effet de l'interaction de différentes doses de boues sur le poids du fruit en fonction des doses.

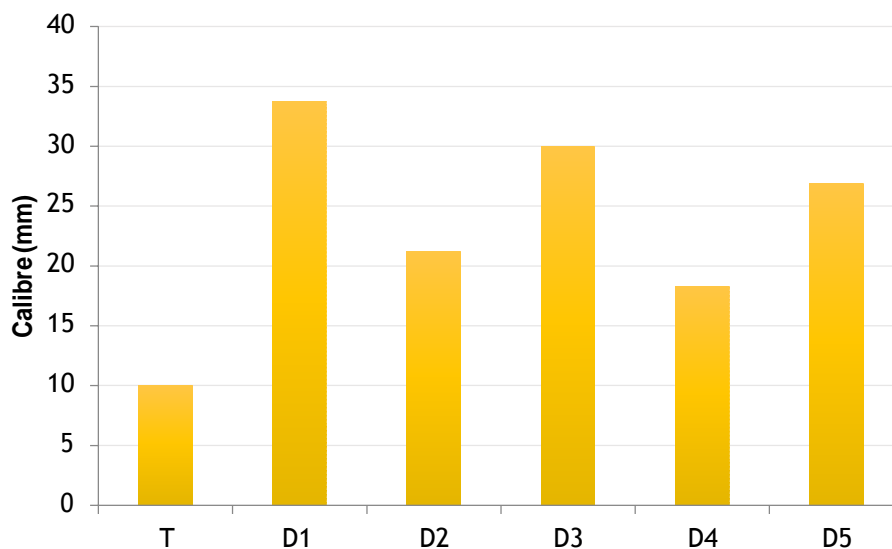
**I1.7. Calibre du fruit (mm)**

Le tableau 18 montre que le calibre le plus important est obtenu avec le traitement **D1 (33.73 mm)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **D.4 (18.32mm)** et le **témoin (10mm)**. La comparaison des doses **D1, D3 et D5**, figure 37 illustre une réduction du calibre des fruits avec l’augmentation de la dose. De même si on compare aussi séparément la dose D2 et D4, les résultats illustrent une réduction du calibre des fruits.

L’examen des résultats obtenus concernant le calibre du fruit (Tableau 18) montrent une variation importante de l’influence du facteur ‘dose’ sur le paramètre ‘calibre’.

**Tableau 18 :** Calibre du fruit en fonction des doses

Doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
Calibre (mm)	29,98	18,32	26,85	10	33,73	21,26



**Figure 37 :** Effet de l’interaction de différentes doses de boues sur le calibre du fruit en fonction des doses

La croissance en volume du fruit peut être également analysée sous l’angle des flux d’eau et de carbone. En effet, les variations de volume du fruit résultent du bilan entre les entrées d’eau et de carbone par le xylème et le phloème et des sorties par la transpiration et la respiration.

Ces différents flux peuvent être appréciés expérimentalement. La perméabilité dépend de facteurs de l'environnement (par exemple elle est diminuée en cas de stress salin) et elle est très variable selon les espèces et au sein d'une même espèce selon les variétés. Cette variabilité génétique entraîne une large gamme de sensibilité des fruits à la transpiration ce qui a des conséquences sur la croissance du fruit et l'établissement de sa teneur en matière sèche (Lescourret *et al.*, 2001).

### 11.8. Matière sèche (g)

Les mesures de matières sèches ont été faites sur les parties aériennes (tige, feuilles et fleurs) et la partie sous-terrine.

#### 11.8.1. Matière sèche des parties aériennes (g)

Les données du tableau 19 montrent la production en matière sèche obtenue chez les différents traitements. La valeur la plus importante en MS des parties aériennes est enregistrée chez le traitement **D5 avec (5.24 g)** et la valeur la plus faible est obtenue avec le témoin (**2.978g**).

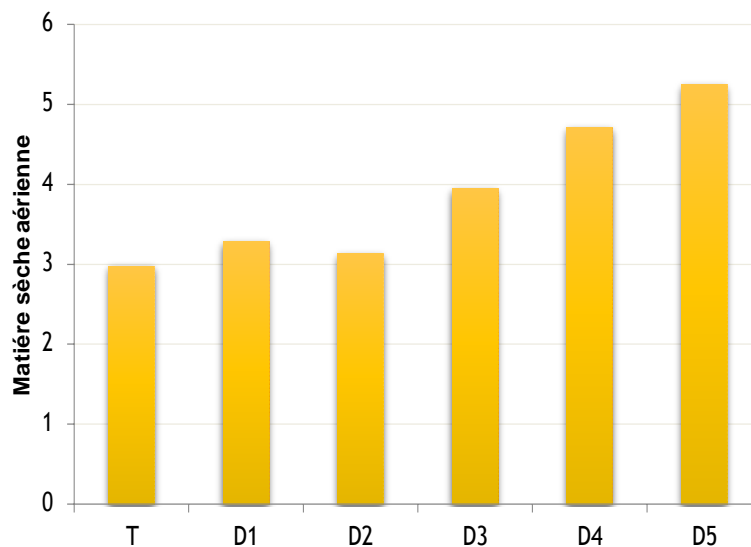
Ces résultats indiquent le rôle positif des matières organiques apportées sous forme de boues sur la matière sèche et qui confirment ceux d'autres auteurs comme **N'Dayegamiye *et al.*, 2004 ; Minagra, 1993 et Nono *et al.*, 2001**. Ce qui montre bien que l'apport de la matière organique entraîne une augmentation contribue significativement au bon développement des cultures.

**Tableau 19** : Matière sèche de la partie aérienne

Traitements	T	D1	D2	D3	D4	D5
<b>M.S Parties aériennes (g)</b>	4,71	5,24	3,13	3,95	2,98	3,29
<b>Gain p/p au témoin (%)</b>	58,3	76,1	5,1	32,6	00	10,4

Le tableau 19 montre aussi la proportion des gains de matière sèche réalisé par la tomate et qui évoluent entre 5 et 75 %. Le maximum réalisé par la dose D5 est corrélé aux paramètres de rendements (fleurs, fruits) (figure 38).

Nos résultats montrent que pour la tomate, la matière sèche augmente de manière sensiblement linéaire en fonction de la dose de boues. Ceci confirme les résultats de **Bouzou *et al.*, 2018**, qui remarquent une assimilation plus importante des éléments de N, P et K par la tomate en fonction des doses de Boues introduite dans le sol. Ces résultats peuvent être justifiés la notion d'efficacité d'utilisation de N, P et K, une efficacité d'utilisation (**Eu**) évaluée par la masse de matière sèche produite par lg d'élément absorbé (**Anderson, 1985 ; Glass, 1999**).



**Figure 38** : Effet de l’interaction des différentes doses de boues sur la matière sèche de la partie aérienne

### 11.8.2. Matière sèche sous-terrain (g)

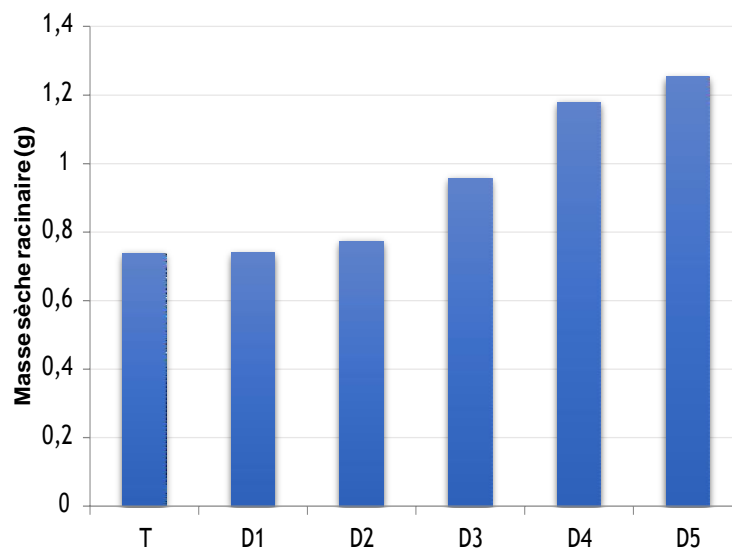
Le tableau 20 montre que la masse sèche la plus importante des parties racinaire est obtenu avec le traitement **D5 (1.25g)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le témoin (**0.73g**). Globalement l’apport de boues contribue à un meilleur développement des racines donnant ainsi à la culture une meilleure efficacité dans la prospection du sol et l’assimilation des nutriments.

**Tableau 20:** Matière sèche sous-terrain

Traitements	T	D1	D2	D3	D4	D5
M.S Racinaire (g)	1,18	1,25	0,74	0,74	0,77	0,96
Gain en MS p/p au témoin (%)	59,3	69,5	00	00	4,5	29,2

La figure 39 illustre bien les différences dans la matière sèche racinaire obtenue par les traitements. Ainsi les proportions de gains sur les parties aériennes sont confirmées dans des proportions semblables par celles de la partie racinaire (5 à 70 %). Ceci montre qu'il existe un lien étroit entre développement des parties aériennes et du système racinaire de la tomate.

Enfin, La variation des moyens de la quantité de matière sèche révèle une action favorable de la boue résiduaire sur la production de matière sèche en comparaison avec le témoin sans apport.



**Figure 39** : Effet de l'interaction des différentes doses de boues sur la matière sèche sous-terrainne

### III- Paramètres édaphiques

#### III.1- Conductivité électrique de la solution du sol

Les résultats de la conductivité électrique sont déterminés sur la base du rapport aqueux 1/5. Les valeurs de CE obtenues varient dans l'intervalle de 304.60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 414.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces résultats indiquent que l'augmentation de la dose de boues engendre dans le sol un processus de salinisation de la solution du sol. La dose D1 ne présente aucune incidence sur la salinité du sol, elle induit une CE de même ordre que le témoin. Tandis que la dose D2 à D5 elles enregistrent une élévation de CE allant de 50 à 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

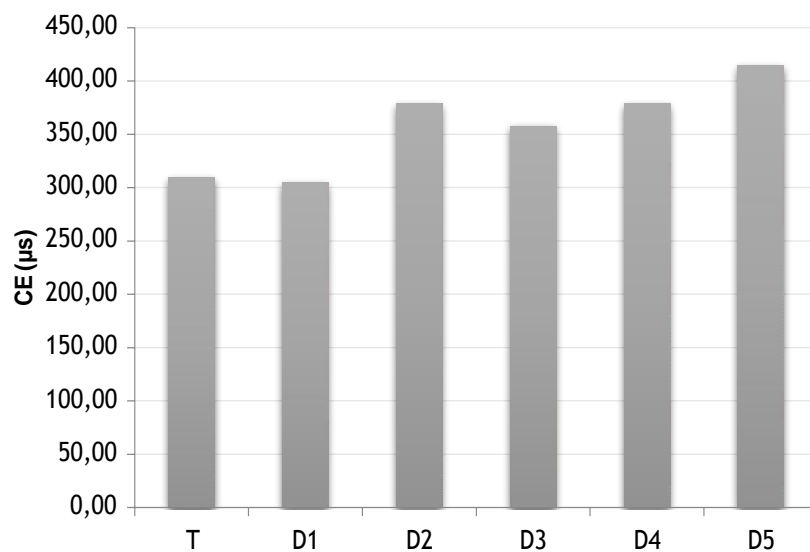
D'autres parts, les valeurs citées au tableau 21, ne semblent pas en mesure d'influencer le développement de la culture de tomate, sur la base des données de **Katerji et al., 2003** qui montrent que les rendements de la tomate sont impactés par la salinité du sol à partir de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Les valeurs sont proches et indiquent que la CE de chaque traitement est faible et que le sol des différentes doses ne souffre pas de problèmes de salinité. La réduction de la disponibilité en eau dans le sol, pour des CE de l'ordre de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$  avoisinent les 5% (**Mass et Hofman, 1977**).

Tenant compte de nos observations, nous pouvons affirmer que les boues de la STEP du pont de Bougie ne présente pas de risques de salinisation des sols agricoles, confirmant ainsi les conclusion de **Cherfouh et al., 2018 ; Chikhi et Yahia Chrif, 2011 ; Yataguen, 2011 ; Atmane et Hamdi, 2013 ; Ben Hamma et Chilla, 2013**.

**Tableau 21** : Conductivité électrique de la solution du sol

Les doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	378,4	414,0	309,4	304,6	378,8	357,8



**Figure 40:** Conductivité électrique de la solution du sol

### III.2- Potentiel Hydrogène pH-eau

Les valeurs du pH mesurées sont proches et compris entre 7.69 et 7.84. La valeur la plus importante du pH (7.84) est représentée par la dose D2 et D3, suivi par la dose D1. Selon les normes d'interprétation, le pH au niveau de D4 est neutre, et pour le reste des traitements il est légèrement alcalin. La réaction de sol pour les quatre doses est neutre à moyennement alcaline (pH entre 6.6 et 8.4) (**Doucet ,2006**).

Cette catégorie de pH est considérée comme étant adéquate à l'alimentation minérale des plantes et quelle ne constitue pas de contrainte quelconque entravant le développement normales des cultures et des organismes vivants (**Soltner, 2005**). A cet effet les différences de pH entre les traitements ne constituent pas un paramètres en mesure d'influer négativement sur les paramètres de développement de la tomate.

Les pH faibles au sein des traitements D4 et D5, peuvent résulter soit du fort développement végétatif (parties aériennes et partie racinaire) engendrant dans le sol des proportions d'acides organiques importantes. Ou bien cette situation peut venir du fait de la concentration importante en sels solubles engendrant un phénomène de précipitation des cations basiques.

Le pH du sol est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité des sols. Le pH de la solution du sol est considéré comme l'une des principales variables exprimant les propriétés chimiques des sols. Cette caractéristique contrôle de nombreux processus chimiques telle que la solubilité des éléments, par conséquent la nutrition minérale des plantes (**Soltner, 2004**). Ce potentiel hydrogène affecte spécifiquement la disponibilité des éléments nutritifs des plantes, en contrôlant les formes chimiques des nutriments, (**Kabata-Pendias, 2011**), donc leur biodisponibilité.

**Tableau22** : Potentiel Hydrogène pH-eau

Les doses	T	D1	D2	D3	D4	D5
pH	7,78	7,80	7,84	7,84	7,77	7,69

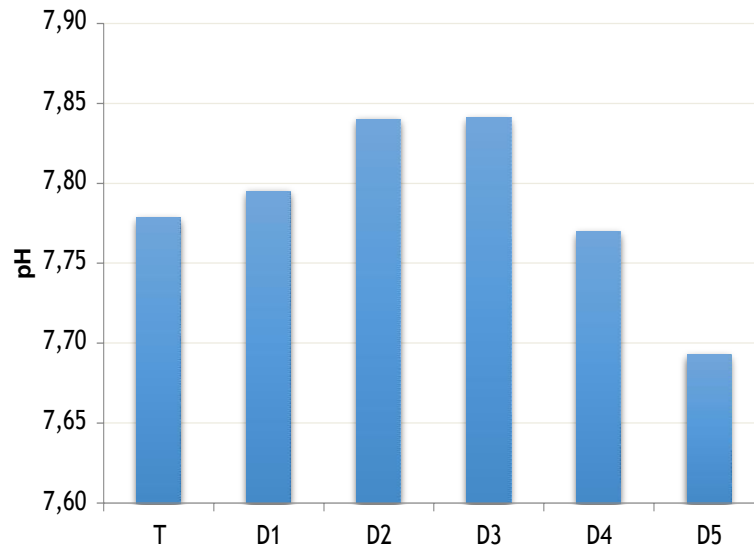
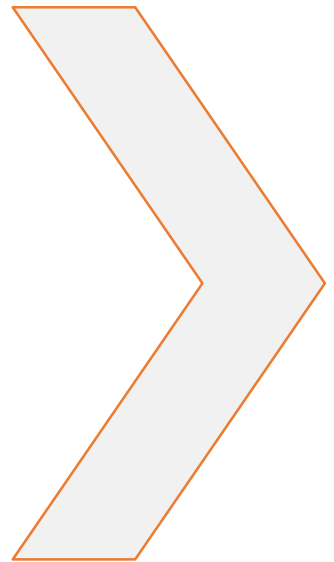


Figure 41 : Potentiel Hydrogène pH-eau

**CONCLUSION GENERALE**  
**& PESPECTIVES**



Le travail accompli dans cette expérimentation portant sur le comportement de la tomate par rapport à différentes doses de boues résiduaires municipales issues de la STEP de l'ONA pont de bougie, nous a permis l'observations des différences plus au-moins importantes. Les variations sont engendrées dans le comportement de la tomate (développement végétatif) et au niveau des propriétés du sol. Globalement, l'analyse des effets suites à l'application de ces boues, a montré une influence positive de l'application des boues résiduaires sur les paramètres de développement de la culture de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) de variété hybride (Q51)

La culture de tomate a présenté une différence dans la croissance en hauteur des plants de tomate. La hauteur des plants au niveau du témoin était voisine de 40 cm, alors qu'au niveau des sols amendés, ils subissent une réduction en fonction de la dose allant de 12 à 20%.

Les résultats enregistrés par le paramètre diamètre du collet présentent une différence dans les traitements. Au niveau de la dose D4 il était voisin de 9mm, comme valeur maximale de l'expérimentation. Alors qu'au niveau du témoin et les traitements D1, D2, D3 et D5, il varie entre 6 et 7mm.

Le développement du système racinaire a enregistré un effet notable. La croissance racinaire au niveau de la dose D1 était proche de 18 cm. Par ailleurs, l'augmentation de la dose de boues influe négativement sur la croissance racinaire compris entre 13 et 14 cm. Les résultats de notre expérimentation montrent une influence remarquable des boues sur l'émission des fleurs. Le nombre de fleurs au niveau du traitement D5 était important, un produit de près de 10 fois plus de fruits.

La variation moyenne de la quantité de matière sèche produite une action favorable de la boue résiduaire sur la production en comparaison avec le témoin sans apport.

Egalement l'emploi des boues permet d'améliorer de manière significative la production des cultures de tomate

L'application de la boue résiduaire a fortement contribué à l'amélioration au rendement de la tomate. Comparativement au témoin, la dose D5 à produit (9 fruits) près de 10 fois plus de fruits. Cependant les résultats de D2, D3 et D4 contredisent la linéarité de la relation nombre de fruits et doses de boues.

Les valeurs du pH mesurées sont comprises entre 7.69 et 7.84. Le pH au niveau de la dose D4 est neutre (7.77), et pour le reste des traitements il est légèrement alcalin. Ceci ne présente pas de contrainte particulière à la nutrition minérale de la tomate.

Les mesures de la conductivité électrique (CE) révèlent que les boues de la STEP du pont de Bougie ne présentent aucun risque de salinisation des sols agricoles. Les valeurs au niveau des sols amendés sont comprises entre 300 et 400 $\mu$ S/cm.

Enfin nous considérons que les résultats de notre étude contribuent au développement de l'utilisation des boues résiduaires sur les sols agricoles peuvent constituer éventuellement une solution de remplacement d'une partie des engrais minéraux et des amendements du sol en matières organiques. Ceci participera à relever les revenus des agriculteurs.

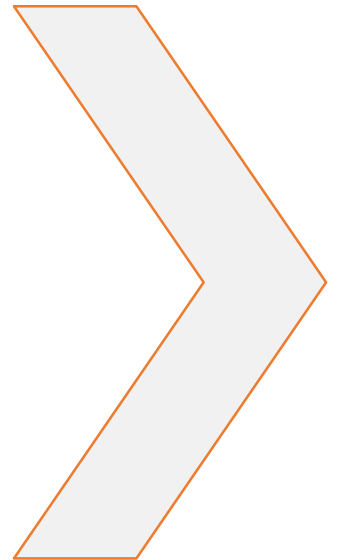
Toutefois, ce modeste travail mérite d'être complété par des essais expérimentaux en conditions contrôlées (en pot) et sur des parcelles agricoles (conditions réelles) afin d'évaluer l'impact sur les caractéristiques physiques et biologiques du sol et sur la croissance et la production de diverses cultures

Les recommandations envisagées sont :

- Des travaux de caractérisation des boues résiduaires des diverses STEP est une opération nécessaire. Connaître la disponibilité physico-chimique permettra de mieux évaluer leur incidence sur le sol et les cultures ainsi que les risques écologiques et sanitaires.
- Diverses cultures doivent être soumises au amendement à base de boue dans le but de connaître la réponse respective ainsi que la qualité de leur produit. Une étude portant sur la qualité biologique semble indispensable pour prévenir les risques pathogènes.
- Des études pédologiques sont à inclure dans l'étude de mise en place du plan d'épandage pour déterminer l'aptitude des sols à l'épandage.
- L'utilisation des boues d'épuration comme amendement agricole est à prendre en considération car celles-ci peuvent constituer à des taux relativement élevés une menace pour les végétaux et par la suite à l'environnement. C'est pour cela qu'une réglementation d'épandage est indispensable.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**



1. **ABIVEN, S., 2004.** Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de doctorat de l'ENSAR: 262p.
2. **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 de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
3. **ANDRED., 1988.** La valorisation agricole des boues de la station d'épuration urbaine. Université Claude Bernard, Lyon i, 328p.
4. **ANDERSON, J. A ., et ASHWORTH, E. N., 1985.** Ice nucleation in tomato plants.
5. **ARTHUR., et ANERSEN ENVIRONNEMENT., 1999.** Audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines - Pré-étude de définition, analyse environnementale. Les études de l'agence de l'eau n° 70, Paris, ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement, 153p
6. **ATHERTON, D. G ., et HARRIS, G. P., 1986.** Howering in the tomato crop. A scientific basis for improvement. Ed. ATHERTON J.G and RUDICH J. LONDON, New York. p 167-200.
7. **BÉCHAC, J.P ., BOUTIN, P ., MERCIER, B ., et NUER, P., 1984.** Traitement des eaux usées. Éditions Eyrolles, 6-8,104-145.

8. **BENABDLI, K., 1999.** Elément de réflexion sur une politique de choix technologique et écologique de mobilisation des eaux de surface dans la wilaya de SIDI BELABBES. Colloque maghrébin sur les eaux et le choix technologique. Université DjillaiLi abés .De SIDI BELABBES le 24et 25mai .9p.
  
9. **BENMOUFFOUK, A., 1994.** Caractérisation et valorisation agricole des boues résiduelles de Draa Ben Khedda (Algérie). Cahiers Agricultures, 3: 295-299
  
10. **BELDJILALI, N ., et ZELTISSI, K., 2017.** Effet des métaux lourds (Cu et Zn) sur les paramètres morphologiques et physiologiques de la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Mémoire master : biologie, Phytotechnologie appliquées aux sols pollués. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis, 90p
  
11. **BOUTIN P, 1982.** Risques sanitaires provenant de l'utilisation d'eau polluée ou de boues de stations d'épuration en agriculture.T.S.M,n°12,pp547-555.
  
12. **BOUZOU, M. L ., RAHMOUNE, C., SERI, R., et HOUHAMD , M., 2018.** Valorisation et étude phytotoxicologique des eaux d'irrigation à partir des eaux usées, sur deux cultures (tomate industrielle et haricot vert). Rev. Sci. Technol., Synthèse 37: 64-77.
  
13. **CRIPPS, G. C., 1992 .**The extent of hydrocarbon contamination in the marine environment from a research station in the Antarctic. *Marine Pollution Bulletin*, 1992, vol. 25, no 9-12, p. 288-292.
  
14. **CHANG, X ., MOWAT, D. N ., et SPIERS, G. A., 1992.** Carcass characteristics and tissue-mineral contents of steers fed supplemental chromium. *Canadian Journal of Animal Science*, 72(3), 663-669.
  
15. **CHAUX, C. L. et FOURY, C. L., 1994 :** Culture légumière et maraichère. Tome 3 : légumineuses potagères, légumes fruit. Tec et Doc. Lavoisier, Paris : 563 p.

16. **CHERFOUH, R ., YVES, L ., DERRIDJ, A., et PATRICIA, M., 2018.** Long term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate : Impact on agronomical soil quality. Rev. Environmental Science and Pollution Research, 1-11
17. **CRONQUIST, A., 1981.**An integrated system of classification of following plants. Ed. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 3RU, USA.809p.
18. **DEBBAMB., 1998:** Contribution à l'étude des boues résiduaires: intérêt agronomique et effet des polluants dans le sol et le végétal. Mémoire de magistère en science agronomique université de Mostaghanem. 180p.
19. **DEROUICHE, F., 2012.** Contribution à l'étude des boues résiduaires de la ville de Tiaret comme amendement organiques pour les cultures maraichères (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).
20. **DORE,C ., et VAROQAUX, F., 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA, Paris. P698
21. **DOUCET, M. E., et LAX, P., 2005.** El género Nacobbus Thorne & Allen, 1944 en la Argentina.
22. **EDWARDS, J. H ., WOOD, C. W., THURLOW, D. L ., et RUF, M. E., 1992.**Tillage and crop rotation effects on fertility sattus of hapludutsoil.soil science society of America Journal.56,1577-1582.
23. **EMILLIAN, K., 2004.** Traitement des pollutions industrielles .Ed Dunod , Paris, 4424p.
24. **FAO., 2000.** Fertilizers and their use – A pocket guide for extension officers. Fourth edition. FAO, Rome, 34p.

25. **FETHALLAH, B., 1991.** Essai de valorisation des boues résiduelles de l'écotex de Barika comme amendement organique sur culture maraîchère (tomate laitue) sous abri plastique Thèse ING d'état 60 P.
26. **FOLLETT, R. F ., et PETERSON, G. A., 1988.** Surface soil nutrient distribution as affected by wheat- fallow tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 52(1), 141-147.
27. **GALLAIS, A ., et BANNERONT, H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Paris. INRA. 391p.
28. **GLEMAS, P., 1980.** Fertilisation Boue, gadoue, compostes, de finition fabrication et caractéristiques. *Revue cultivar* n°132 : 44-51
29. **GOMEZ, A ., LINERES, M ., TANZIN, J ., et SOLDA, P., 1984.** Etude de l'incidence des apports de boues résiduelles à des sols sableux, sur l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique. *CR. Acad. Sc. Fr* 516-524.
30. **GRASSELLY, D ., NAVEZ, B ., et LETAR, D ., 2000.** Tomate pour un produit de qualité. Ed. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes 22 rue Bergère - 75009 Paris.201p.
31. **GRASSELLY, D ., NAVEZ, B ., LETARD, M., 2000.** Tomate pour un produit de qualité. Ed. Lavoisier.14, rue de provigny-F9423 cachan cedex.222p.
32. **HALITIM., A., 1988-** Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger, 141p.
33. **HADJAZ, D et HADJ LARBIN., 2017.** Effet de la fertilisation organique et minérale sur la qualité et le rendement chez deux variétés de la tomate : Hybride ( Tavira) et fixés ( Marmande) cultivées sous serre. UMMTO
34. **HENAO, J ., et BAANANTE , C. A., 2006.** Agricultural Production and Soil Nutrient Mining in Africa. Summary of IFDC Technical Bulletin, IFDC, Muscle Shoals, Alabama, USA, 75p.

35. **HURT, F., 1985.** Valorisation agricole des compostes d'origine urbaines extrait du N°262 De la Revue Horticole : dossier technique de la SCL . Agro.. 336 .pp . 1-7 Belgique.
  
36. **IGOUD, S., 2001.** Valorisation des Boues Résiduairees Issues des Stations d'Épuration Urbaines par leur Epannage dans les Plantations Forestières. Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse, 69-74.
  
37. **ITCMI, 2015..** Guide pratique, la culture de tomate sous serres ;12p.
  
38. **JARD, E., 2002.** Composition organique des boues résiduairees des stations d'épuration lonaines ; caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse, doctorat. Univ.HenriPoincaré, NancyIen sciences del'univers, 286p.
  
39. **JAROZ, J., 1985.** Le traitement des boues des stations d'épuration, centre de formation et de documentation sur l'environnement industriel, Paris06–France.
  
40. **JUDD W, S., CAMPBELL, C. S., KELLOGG E, A., et STEVENS, P., 2002.** Botanique systématique, une perspective phylogénétique. – Paris : De Boeck Université, 467 p.
  
41. **KABATA-PENDIAS, A., 2011.** Trace elements in soils and plants (4th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
  
42. **KAKII, K ., HIROYUKI, Y., IGUCHI, Y., TESHIMA, M., SHIRAKASHI, T ., et KURIYAMA, M., 1986.** Isolation and growth characteristics of nitrilotriacetate-degrading bacteria. Journal of Fermentation Technology, 64(2), 103-108.
  
43. **KASSAOUI, H., LEBKIRI, M ., LEBKIRI, A., RIFI, H ., BADOCA, A ., et DOUIRA, A., 2009** Bioaccumulation de métaux lourds chez la tomate et

la laitue fertilisées par les boues d'une station d'épuration. Bulletin de la Société de pharmacie de Bordeaux, 148, 77-92.

44. **KATERJI, N ., VAN HOORN, J. W ., HAMDY, A ., et MASTRORILLI, M., 2003.** Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural water management*, 62(1), 37-66.
  
45. **KATERJI, N., VAN HOORN, J. W ., HAMDY.A ., et MASTRORILLI, M., 2005.** Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties: I. Chickpea and faba bean. *Agricultural water management*, 72(3), 177-194.
  
46. **KIRKHAM, M.B., 1974.** Disposal of sludge and land .effect on soil plant and ground water: compost sc. 15 N°2 PP.6-10.
  
47. **KITABALA, M.A ., TSHALA, V ., KALENDA, M. A ., TSBIJKA, I. M ., et MUFIND, K. M., 2016.** Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences* 102: 9669 - 9679.
  
48. **KOFOED, A. D., 1984.** Optimun use of sludge in agriculture in Berglund S , Davis , RD.L'hermiteP,eds. Commission of European communities : utilization of sewage sludge on land rate of application and long term. Effect of metals .Dordrecht.DReidel publication 1984.229P.
  
49. **LAHMAR, R ., et RUELLAN, A., 2007.** Dégradation des sols et stratégies coopératives en Méditerranée : la pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. *Cahiers Agricultures*. 16 (4), 318-23.
  
50. **LATIGUI A., 1984.** Effet des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée .Thèse de magister .INRA

- 51. LAUMONNIERR., 1979.** Culture légumière et maraichère Tome3 .Ed  
Bailliére, Paris.279p.
- 52. LEGA, R ., LADWIG, G ., MERESZ, O ., CLEMENT, R. E ., CRAWFORD, G ., SALEMI, R ., et JONES, Y., 1997.** Quantitative determination of organic priority pollutants in sewage sludge by GC/MS. *Chemosphere*, 34(8), 1705-1712.
- 53. LESCOURRET, F., GENARD, M .; HABIB, R ., et FISHMAN, S., 2001.** Variation in surface conductance to water vapor diffusion in peach fruit and its effects on fruit growth assessed by a simulation model. *Tree Physiol.* 21,735–741. doi: 10.1093/treephys/21.11.735
- 54. MADRPM, 1999.** Fiche Technique Tomate sous serre, n° 57-Juin 1999 ;4p.
- 55. MAAS, E. V ., et HOFFMAN, G. J., 1977.** Crop salt tolerance—current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 103(2), 115-134.
- 56. MIKANOWSKI, L ., MIKANOWSKI ,P., 1999.**Tomate. P89-93.
- 57. MINAGRA., 1993.** Plan directeur du développement agricole 1992-2015. Ministère de l’agriculture, Abidjan, République de Côte d’Ivoire 257 pp
- 58. MOREL, J. L., 1977-**Contribution à l’étude des boues résiduares dans le sol .Thèse de docteur université NANCY.122p.
- 59. MOREL, J. L., 1978.** Quelques aspects nouveaux de la dynamique du carbone et azote ann .agro. vol N°24. P357-379.

60. **NAIKA, SH ., DEJEUDE, J. V. L ., DEGOFFAU, M ., HILMI, M., 2005**  
Cultivation of tomato .production, processing and marketing. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen, ISBN Agromisa: 90-8573-039-2. 9-15 P.
61. **N'DAYEGAMIYE, A ., GIROUX, M ., et ROYE. R., 2004.** Épandages d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetières : coefficients d'efficacités de l'azote et nitrates dans le sol. *Agrosol*, 15 (2) : 97-106
62. **NONO, W.R ., SWAI, I. S ., et CHADHA, M. L., 2001.** Management of vegetable diseases in Eastern and Southern Africa: case study of tomato. In: Anonym, *Proceedings of the workshop on vegetable research and development in West Africa*. Eds. AVRDC AfricaRegional Program, ARUSHA TANZANIA.19-31 pp.
63. **PEREZ, S ., LAFARRE, M ., GARCÍA, M. J ., et BARCELO, D., 2001.** Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge and their contribution to its toxicity in the Tox Alert 100 bioassay. *Chemosphere*, 45(6-7), 705-712.
64. **POLESE, J. M., 2007.**La culture de tomate. Ed Artémis.95p.
65. **POMMEL, B., 1981.** A plant test for determination of phosphorus value of urban wastes. In *Symposium on Substrates in Horticulture other than Soils In Situ* 126 (pp. 237-244).
66. **PEKRUN, L ., KAUL, H. P ., et CLAUPEIN, W., 2003.** Soil tillage for sustainable nutrient management in *EL Tiri*, A (ed.)soil tillage in *Agroecosystems* ,CRC Press NewYork (USA), pp83-113.

- 67. PUBLISHERS, B., 2004.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2: légumes. 736p.
- 68. RASMUSSEN, K. J., 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53, 3-14.
- 69. REY, Y., et COSTES, C., 1965.** La physiologie de la tomate, étude bibliographique. INRA
- 70. SAHLSTRÖM, L., ASPAN, A., BAGGE, E., DANIELSSON-THAM, M. L., et ALBIHN, A., 2004.** Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. *Water research*, 38(8), 1989-1994.
- 71. SRAC, M., 1980.** Contribution à l'étude de la valorisation agronomique du compost sous urbain sous climat méditerranéen Thèse de doctorat 3eme cycle : Institut national polytechnique de lorraine. Nancy. Page 107.
- 72. SOLTNER., 2005.** Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées- prairies. 20eme Ed, collection sciences techniques agricoles. 464p.
- 73. SU, D. C., et WONG, J. W. C., 2004.** Chemical speciation and phyto availability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge. *Environment International*. Volume 29, Issue 7 Pages 895-900
- 74. TEBRÜGGE, F., et DÜRING, R. A., 1999.** Reducing tillage intensity—a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and tillage research*, 53(1), 15-28.
- 75. WARMAN, P. R., 2005.** Soil fertility, yield and nutrient contents of vegetable crops after 12 years of compost or fertilizer amendments. *Biol. Agric. Hortic.*, 23:85–96.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

76. WERTHER, J ., et OGADA, T., 1999. Sewagage sludge combustion, Progress in Energy and Combution Science, 25, 55-116.
77. ZEBARTH, B. J ., NEILSENG.H ., HOGUEE ., et NEILSEND., 1999. Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. Can. J. Soil Sci., 79: 501–504.

**ANNEXES**



**ANNEXE 1 : Tableau Plages descriptives du pH dans les sols**

<b>Qualification du sol</b>	<b>Valeur du pH</b>
Ultra acide	<3,5
Excrément acide	3,5 à 4,4
Très fortement acide	4,5 à 5,5
Fortement acide	5,1 à 5,5
Modérément acide	5,6 à 6,0
Légèrement acide	6,0 à 6,6
Neutre	6,6 à 7,3
Légèrement alcalin	7,4 à 7,8
Modérément alcalin	7,9 à 7,4
Fortement alcalin	8,5 à 9,0
Très fortement alcalin	9

**ANNEXE 2 : Tableau Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H (1983)**

<b>Classe</b>	<b>CE en <math>\mu\text{s}/\text{cm}</math> à <math>25^\circ\text{C}</math></b>	<b>Qualité du sol</b>	<b>Effet sur le rendement</b>
<b>Classe I</b>	0 à 500	Non salé	Négligeable
<b>Classe II</b>	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensible au sel
<b>Classe III</b>	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
<b>Classe IV</b>	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
<b>Classe V</b>	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent un rendement satisfaisant