



**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 sciences Agronomique

Mémoire de fin d'études

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master En Agronomie

Option : Science du sol

Thème

**Effet de l'irrigation par les eaux usées épurés sur l'évolution du
taux de la matière organique du sol sous culture de la tomate
industrielle**

Présenté par

Melle HAMZA Thileli

Melle HARANI Lynda

❖ M ^{me} OMOURI O.	MAA	U.M.M.T.O.	Présidente
❖ M ^{me} OMARI O.	MAA	U.M.M.T.O.	Promotrice
❖ M ^{me} TIBICHE G.	Doctorante	en science du sol	Examinatrice
❖ M ^{lle} ISSAOUN D.	Doctorante	U.M.M.T.O.	Co-Promotrice

Remerciements

*Au moment de clôturer ce mémoire, nous remercions en premier lieu ; Dieu de nous avoir
Donné la force, la patience et le courage de terminer ce travail dans
des conditions qui n'ont pas été faciles.*

Nous exprimons toutes nos gratitudees à notre promotrice

M^{me} OMARI Ouardia Maître assistante chargée de cours à l'UMMTO et à ***M^{elle}
ISSAOUN Djamila***, d'avoir acceptés de diriger ce mémoire et nous ont guidés avec
leurs conseils et leurs encouragements

Durant l'élaboration de ce mémoire.

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à la présidente de jury **M^{me}***

OMOURI W. d'avoir accepté de présider le jury.

*Nos remerciements à **M^{me} TIBICHE G.** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions également à l'ensemble de personnel de la STEP de Boghni qui nous ont
aidés et facilités la tâche au cours de notre pratique.*

A toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail...



Merci à vous tous

Dédicace 1

Je dédie ce travail à :

Ma famille, elle qui ma doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

A ma mère **DJAMILA**, et ma grand mère **FATIMA**

A mon père **ACHOUR**, et mon grand-père **RABAH**

A vous ma petite sœur **WISSAM**, je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et prospérité

Particulièrement, je tien à **témoigner** ma gratitude à **shikis** qui ma soutenu tout au long de mon cursus, aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien à la fois moral et économique

A mes frères **TAREK, AHMED, SAID, HANI** aussi **MILU** qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail

A monsieur **CHRISANCHORAGE SUEDI** je souhaite te remercier d'être un ami, merci pour tes conseils tout au long de cette année

A ma tante **NACIRA** et son mari **KARIM**

A mes petits anges **SAMI** et **AMI**

A tous mes, amis **WAFI, CYLIA, WIWI, RADIA, KAISSA DRIFA, NADA, et cher HACEN** particulièrement

A ma binôme **LYNDA**, et son fiancé **MAKHELOUF**

Et a toute ma famille sans exception

À toutes les personnes que je porte dans le cœur et qui se reconnaîtront car elles en font.



Thileli

Dédicace 2

Je dédie ce travail à :

Ma famille, elle qui ma doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

A mon père **KHELIFA**, à ma mère **ZAHRA** et ma grand-mère **BAYA**

Particulièrement, je tien à **témoigner** ma gratitude à mon cher fiancé **MAKHELOUF** qui ma soutenu tout au long de mon cursus, aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien à la fois moral et économique

A vous ma petite sœur **THANINA**, je te souhaite bonheur, réussite et prospérité

A mes **frères LARBI et RABAH** aussi qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail

A vous ma belle **WISSAM HAMZA**, je te dis merci, je te souhaite bonheur et de réussite.

A ma tante **ALDJA** et son mari **KARIM**, merci pour tous les conseils

Et a toute ma famille sans exception

A tous mes amis **CYLIA, WIWI, NINA, WASSILA, DRIFA, SOUHILA ZINA, KAISSA, et NADA** ainsi tous mes collègues de la promotion de master science du sol.

A ma binôme **LILA**, et son fiancé **RABAH**

À toutes les personnes que je porte dans le cœur et qui se reconnaîtront car elles en font.



Lynda

Résumé

Le présent travail vise l'évaluation de l'impact de l'irrigation par les eaux usées épurées sur l'évolution de quelques paramètres morphologiques et biométriques de deux variétés de tomate industrielle et du taux de la matière organique dans le sol. Le travail a été mené au niveau de la station d'épuration ONA de Boghni. Deux qualités d'eau sont utilisées pour l'irrigation, l'eau usée épurée de la STEP et l'eau de source. Les résultats obtenus montrent que l'irrigation par les eaux usées épurées a un effet positif et significatif sur la couleur des plants, la longueur et le diamètre de la tige des plants. Le taux de la matière organique est élevé au niveau du sol irrigué par les EUE et une évolution significative a été marquée durant le stade fructification par rapport au stade floraison pour la variété Roma.

Mots clés : Traitement des eaux usée- irrigation- sol -matière organique.

Abstract

The present work aims at evaluating the impact of irrigation by purified wastewater on the evolution of some morphological and biometric parameters of two varieties of industrial tomato and on the rate of organic matter in the soil. The work was conducted at the ONA wastewater treatment plant in Boghni. Two qualities of water are used for irrigation, the purified waste water of the STEP and the spring water. The results obtained show that irrigation with purified wastewater has a positive and significant effect on the color of the plants, the length and the diameter of the stem. The organic matter content was better in the WAS irrigated soil and a significant change was observed during the fruiting stage compared to the flowering stage for the Roma variety.

Key words: water treatment-irrigation-soil-organic matter.

Liste des abréviations

Liste des abréviations

FAO: Food and Agriculture Organization.

ONA: office national de l'assainissement

EUE : eau usée épurée

ES : eau de source

VF : Variété Roma

STEP : stations de traitement des eaux d'épurations

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

FTU: Formazine Turbidity Unit.

JTU: Jackson Turbidity Unit.

K: Potassium.

Métaux:

Cd: Cadmium.

Cu: Cuivre.

Cr: Chrome.

Pb: Plomb.

Hg: Mercure.

Ni: Nickel.

Zn: Zinc.

MES: Matières en Suspensions.

MO: Matière organique.

N: Azote.

NGL: Azote total.

NTK: Azote kjeldhal.

NH₄⁺: Azote ammoniac.

NO₂⁻: Nitrite.

NO₃⁻: Nitrate.

NTU: Nephelometric Turbidity Unit.

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

P: Phosphor.

PT: Phosphor total.

REUE: Réutilisation des eaux usées épurées.

SAR: Taux d'adsorption de Sodium (Sodium Adsorption Ratio).

USEPA: United States Environmental Protection Agency.

Lg t: Longueur des tiges.

Lg r: Longueur des racines.

Nbr F: Nombre de feuilles.

Scr: Sucres solubles.

Prl: Proline.

Chl: Chlorophylle (a+b).

Qtx : Quintaux

ha: Hectare

°C : Degrée Celsius

cm : Centimètre

Liste des figures	pages
Figure 1 : Les différents traitements des eaux usées	12
Figure 2 : la plante de la tomate industrielle (original ,2021)	21
Figure 3 : Appareille reproducteur de la tomate	22
Figure 4 : Maladies fongiques de la tomate (Blancard et al.1997)	26
Figure 5 : les ravageurs de la tomate (Blancard, 1997)	28
Figure 6 : Localisation de la commune de Boghni dans la wilaya de Tizi-Ouzou	29
Figure 7 : Images satellitaires de la station d'épuration ONA de Boghni	30
Figure 8 : Les différents traitements d'épuration de la station de Boghni	31
Figure 9 : La variété Roma VF	32
Figure 10 : La variété Rio Grande	32
Figure 11 : La mise en place des graines (Original, 2021)	34
Figure 12 : La préparation des pots (Original ,2021)	34
Figure 13 : Dosage (Original, 2021)	36
Figure 14 : Mesure des paramètres agronomiques	41
Figure 15 : Le développement de la culture de tomate après l'irrigation (Original, 2021)	42
Figure 16 : Evolution du taux de la matière organique dans le sol en fonction d'eau d'irrigation S	43

Liste des tableaux	Pages
Tableau 1. Composants majeurs typique d'eau usée domestique.	4
Tableau 2:Élimination des pathogènes par les différents traitements	11
Tableau 3 : Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en DBO5, DCO et MES.	14
Tableau 4 : Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximale autorisées en azote et phosphore	14
Tableau 5 : Production en million de tonnes des principaux pays producteurs de la tomate dans le monde en 2017.	18
Tableau 6 : Les principales maladies fongiques rencontrées chez la tomate.	24
Tableau 7 : Principaux Ravageurs de la tomate.	27
Tableau 8 : Caractéristique agronomique des variétés utilisées	33
Tableau 9 : Calendrier d'irrigation pendant l'essai expérimental	35
Tableau 10 : La composition physicochimique des eaux d'irrigation	37
Tableau 11 : Mesures biométrique	38
Tableau 12 : Le test de NEWMAN-KEULS-SEUIL	40
Tableau 13 : Normes d'interprétation pour la matière organique	42

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : **Epuraton et réutilisation des eaux usées dans l'irrigation**

1. définition des eaux usée	3
1.1. Les eaux usées domestiques.....	3
1.2. Les eaux usées urbaines	3
1.3. Les eaux usées industrielles	3
2. La nécessité de l'épuration	4
3. Composition des eaux usée	4
3.1. Les matières en suspensions	5
3.2. Les micropolluants organiques et non organiques	5
3.3. Les substances nutritives organiques	5
3.4. Qualité microbiologique.....	7
4. Traitement des eaux usées.....	7
4.1. Traitement préliminaire	7
4.2. Traitement primaire	7
4.3. Traitement secondaire.....	8
4.4. Les traitement extensifs	8
4.5. Le lagunage tertiaire	10
5. Analyse de de la qualité des eaux après le traitement	12

5.1. Paramètres physico-chimique.....	13
5.2. Paramètres microbiologiques.....	15
6. La réutilisation des eaux usée épurée.....	15
6.1. La réutilisation des eaux usées épurées dans le monde	15
6.2. Avantage de la réutilisation des eaux usées épurées	15
6.3. Contrainte liée à la réutilisation des eaux usées épurées	16
6.4. Les risques sanitaires	16
Chapitre II : Généralité sur la tomate industrielle	
1. Origine et historique de la tomate	17
2. Situation et importances économique de la tomate	18
2.1 Dans le monde	18
2.2 En Algérie	18
2.3 Dans la wilaya de Tizi Ouzou	19
3. Etude botanique et agronomique de la tomate	19
3.1 Classification de la tomate	20
3.2 Caractéristique de la tomate.....	20
3.3 Exigence climatique de la tomate.....	23
3.4 Cycle biologique de la plante de la tomate	23
4. Fertilisation de la tomate	23
4.1 Fertilisation organique	23
4.2 Fertilisation minéral	23
5. Maladies et ravageurs de la tomate	23
5.1 Principale maladies de la tomate	24

5.1.1 Maladies fongiques.....	24
5.1.2 Principaux ravageurs de la tomate	27

Deuxième Partie : Matériel et Méthodes

1. Objectif de l'essai	29
2. Présentation de la région d'étude	29
2.1 Situation géographique	29
2.2 Le climat de la région d'étude.....	29
3. Présentation de la station d'épuration ONA de Boghni	30
3.1 Les différents ouvrages de la station de Boghni ONA	30
3.2 Choix de la culture	31
3.3 Le semis	33
3.4 Echantillonnage pour l'étude du sol.....	34
3.5 La mise en place de la culture	34
3.6 Les paramètres étudiés	35

Troisième partie: Résultats et discussions

1. Caractérisation du sol d'essai	37
2. Indice de germination.....	38
3. Les mesures biométriques	38
4. Caractérisation du sol d'essai.....	42
5. Le carbone et la matière organique du sol initial	42
6. Evolution du taux de la matière organique dans le sol	43

Conclusion	45
-------------------------	----

Références bibliographiques

Introduction

Le volume d'eau utilisé dans le monde a progressé plus de deux fois plus que le taux de croissance de la population. Un nombre grandissant de régions atteint la limite au-delà de laquelle il n'est plus possible de fournir des services fiables d'approvisionnement en eau (pour différents usages) (FAO, 2007). La croissance démographique et le développement économique exercent une pression sans précédent sur les ressources en eau, renouvelables mais limitées, notamment dans les régions arides. Il est estimé qu'à l'horizon 2025, 1,8 milliard de personnes vivront dans des pays ou des régions disposant de moins de 500 m³ d'eau renouvelable par an et par habitant (FAO, 2007).

Dans les pays de la marge sud de la Méditerranée et notamment dans la région arabe, connue par son climat aride et semi-aride, la pénurie d'eau sera un fait marquant. La totalité des pays de cette région tombent sous le niveau de pénurie de 500 m³ d'eau renouvelable par personne et par an (Hamoda, 2004).

Presque toutes les ressources accessibles d'eau douce dans la région sont déjà mobilisées. Par conséquent, il est normal de se tourner vers des ressources d'eau non conventionnelles pour satisfaire l'accroissement de la demande. Plusieurs pays de la région (comme les Etats du Golfe) ont fait de grands efforts en matière de dessalement de l'eau de mer afin de satisfaire la demande de leurs populations urbaines (Qadir et al., 2007).

Parmi les domaines de réutilisation possible des eaux usées épurées, l'irrigation constitue le secteur le plus intéressant. En fait, l'agriculture consomme plus 70 % des ressources en eaux notamment dans les pays en développement tels que les pays arabes (Hamoda, 2004).

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles en Algérie évolue d'une manière significative durant l'année 2020 (ONA, 2020). Durant l'année 2019, un volume de 12.325.269 m³ d'eau épurée a servi à l'irrigation de 11045 hectares de terres agricoles, soit un taux de la réutilisation en agriculture de 31% du volume épuré (ONA 2019).

L'étude que nous présentons est une contribution à l'évaluation de l'impact de l'irrigation par les EUE de la station d'épuration ONA de Boghni sur la croissance et le développement morphologique et agronomique de deux variétés de tomate industrielle (RomaVF (*solanum*

lycopersycum) et **Rio grande** (*Lycopersicon esculentum* Mill)), ainsi que sur le taux de la matière organique du sol.

Notre travail est scindé en plusieurs parties, une première partie qui consiste en une synthèse bibliographique donnant un aperçu sur épuration et la réutilisation des eaux usées, et généralités sur la tomate industrielle .La seconde Partie résume les différentes méthodes et matériel utilisés dans notre expérimentation .La troisième partie présente les résultats et leur discussion suite à une analyse statistique.

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1

Epuration et réutilisation des eaux usées

1. Définition des eaux usées

Ramade (2000) définit les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout

1.1 Les eaux usées domestique

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout » (**Baumont *et al.*, 2004**).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales telles que les chlorures, les phosphates, les sulfates...etc.) .Et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et dans certains cas, d'autres corps tels que le soufre, le phosphore, le fer...etc.) (**Vaillant, 1974**).

1.2. Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Ces eaux entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) (**Desjardins, 1997**).

1.3. Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières (**Edline, 1979**).

Selon **Baumont et al., (2004)**, les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

2. La nécessité de l'épuration

Ce qui précède démontre la nécessité de l'épuration des eaux usées et de l'eau résiduaire industrielle. Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tel que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique (**Xantholins, 1993**).

3. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées (Tableau 1), est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.).

Tableau 1. Composants majeurs typique d'eau usée domestique.

Constituants	Concentration (mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous (TDS)	850	500	250
1			
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore1	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅	300	200	100

(Source: Faby, 1997).

3.1. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (**Faby, 1997**)

3.2. Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. (**Baumont et al., 2004**).

3.2.1. Éléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb.

Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces.

Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » (**Cauchi, 1996**).

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. (**Faby, 1997**).

3.2.2. Les substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

- de 16 à 62 kg d'azote,

- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium (**Faby, 1997**).

➤ **L'azote**

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O_2) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+) (**Martin, 1979**).

➤ **Le phosphore**

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement (**FAO, 2003**). Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation; cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore (**Asano, 1998**).

➤ **Le potassium (K^+)**

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins (**Faby, 1997**).

Il faut noter cependant que, s'il existe un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers, à une consommation de luxe pour les récoltes (**FAO, 2002**).

➤ **Chlore et sodium**

Leur origine est :

- Naturelle (mer : 27g/l Na Cl,) et terrains salés)
- humaine (10 à 15g/l Na Cl dans les urines/j).- industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (**Gaujous, 1995**).

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (**Faby, 1997**).

3.4. Qualité microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales, Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (**Baumont *et al.*, 2004**).

4. Traitements des eaux usées

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique. (**Figure 1**)

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

4.1. Le traitement préliminaire

En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (désuilage). Les déchets solides peuvent être déchiquetés (dilacération) par des « pompes dilacératrices », cette opération facilitant leur dispersion (**Desjardins, 1997**).

4.2. Le traitement primaire

La décantation primaire permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60 % de MES, soit 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires (**Faby, 1997**).

Selon (**FAO, 1992**) approximativement 25 à 50% de la demande biologique en oxygène (DBO5), 50 à 70% du total des solides en suspension (SS) et 65% des graisses et huiles sont éliminés par décantation primaires.

➤ Les traitements physico-chimiques

Ils sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). Ils comportent classiquement deux phases : une phase de coagulation par des sels de fer ou d'aluminium, puis une floculation des colloïdes formés. Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée, sinon maîtrisée. Il y a donc un risque de surcoût lié à une mauvaise utilisation, voir un risque environnemental (**Asano, 1998**).

4.3. Le traitement secondaire

Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur.

La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues.

L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène. Selon **Faby (1997)**, une épuration biologique (boues activées puis bassin de clarification) permet d'éliminer 90 % des virus, 60 à 90 % des bactéries, mais par contre a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes.

L'épuration sur lit bactérien est le plus ancien procédé biologique. Des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme de la pierre concassée, de la pouzzolane (sable volcanique), du mâchefer ou du plastique. On fait passer l'effluent sur le substrat.

La difficulté consiste à trouver la bonne vitesse du flux d'eau, qui ne doit pas être trop rapide (pour permettre la dégradation bactérienne) ni trop lente (pour une bonne évacuation de MES en excès).

Le dernier traitement biologique mis au point est le bio filtre, qui combine les actions épuratrices de la filtration et de l'activité microbienne. C'est un traitement intensif qui est rapide à mettre en place, qui prend peu de place, et qui ne nécessite pas de bassin de clarification (**Baumont et al., 2004**).

4.4. Les traitements extensifs : le lagunage secondaire

Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassins : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation.

Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeur, notamment à cause de la formation de composés soufrés.

Le bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique. Enfin, le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes, sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues (**Cauchi, 1996**). Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. L'élimination des virus est un peu moins efficace (**Asano, 1998**).

➤ **Le traitement tertiaire**

À l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage) ; par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable (**Edline, 1996**).

➤ **Les traitements chimiques et les ultraviolets**

Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore. D'autant plus que le coût de la décoloration, qui permet de limiter considérablement l'effet toxique de certains produits dérivés formés lors du traitement, est élevé.

L'ozone est un procédé de désinfection utilisé aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient essentiellement. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus (**Lazarova, 2003**). Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité (**Cauchi, 1996**). On peut également utiliser l'acide per acétique, le dioxyde de chlore et les ferrates. Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées.

➤ **Les membranes**

Les membranes permettent de filtrer et d'éliminer toutes les MES, tous les microorganismes et toutes les substances qui s'y adsorbent. Seules subsistent les matières dissoutes. L'efficacité épuratrice d'une membrane dépend de son « seuil de coupure ». Selon (**Lazarova et al (2003)**), un seuil de coupure de 0,035 µm permet de désinfecter de manière quasi-totale.

Les autres avantages d'un traitement par membranes sont une réduction considérable de la surface nécessaire pour le site de traitement (moins 50 % de surface totale au sol et moins 40 % du volume d'un bassin biologique, toujours selon **Lazarova** et une automatisation poussée de l'usine.

Par contre, les membranes nécessitent d'être nettoyées régulièrement pour continuer à être efficaces. De plus, le traitement par membranes est un procédé dont le coût est élevé. La filtration est très efficace pour l'élimination des micro-organismes, d'autant plus que ceux-ci sont gros. L'osmose inverse, qui est une technique de filtration encore plus fine, et qui permet de séparer également les substances dissoutes, est tout aussi efficace (**Baumont et al., 2004**).

4.5. Le lagunage tertiaire

Le lagunage tertiaire est un procédé extensif de désinfection similaire au lagunage secondaire, si ce n'est qu'il est précédé d'un traitement d'épuration comme par exemple un traitement par boues activées. Il permet d'éliminer les micro-organismes, d'affiner l'épuration, de faire face aux variations de flux et de protéger le milieu récepteur (**Cauchi, 1996**).

➤ **L'infiltration/percolation**

L'infiltration ou percolation consiste à traiter l'eau par l'intermédiaire du sol ou d'un massif filtrant. On infiltre les effluents à raison de quelques centaines de litres de ce dernier par mètre carré de massif filtrant et par jour. Trois mécanismes entrent en jeu : la filtration de MES : plus le sable est grossier, plus la fixation de MES se fera en profondeur. (Tableau 2).

Tableau 2. Élimination des pathogènes par les différents traitements.

	Virus entériques	Salmonella	Giardia	Cryptosporidium
Concentration dans les eaux brutes (unité/l)	100 000 à 1 000 000	5 000 à 80 000	9 000 à 200 000	1 à 3 960
Traitement primaire a				
Taux d'élimination (%)	50 à 98,3	95,5 à 99,8	27 à 64	0,7
Nombre restant (unité/l)	1 700 à 500 000	160 à 3 360	72 000 à 146 000	
Traitement secondaire b				
Taux d'élimination (%)	53 à 99,92	98,65 à 99,996	45 à 96,7	
Nombre restant (unité/l)	80 à 470 000	3 à 1 075	6 480 à 109 500	
Traitement tertiaire c				
Taux d'élimination (%)	99,983 à 99,9999998	99,99 à 99,9999995	98,5 à 99,99995	2 à 7d
Nombre restant (unité/l)	0,007 à 170	0,000004 à 7	0,099 à 2 951	

(a) Sédimentation primaire et désinfection

(b) Sédimentation primaire, lit bactérien/boues activées et désinfection

(c) Sédimentation primaire, lit bactérien/boues activées, désinfection, coagulation, filtration et désinfection. **Source : (Asano 1998).**



Figure 1. Les différents traitements des eaux usées

5. Analyse de la qualité des eaux après traitement

De telles études sont souvent réalisées en préalable à une opération de REUE, afin d'apporter les assurances sanitaires nécessaires. Les contaminants les plus étudiés sont les microorganismes. Les formes de résistance des protozoaires et des helminthes (les kystes et les œufs) sont les plus problématiques (**Lazarova et al., 2003**).

5.1. Les paramètres physico-chimiques

Les stations d'épuration ont des normes de rejet à respecter pour les matières carbonées, les matières azotées et les matières phosphorées.

La réglementation distingue les stations qui rejettent en zone non sensible et celle qui rejettent en zone sensible à l'eutrophisation ; en zone non sensible, seules les normes concernant les matières carbonées sont à respecter, et en zone sensible s'y ajoutent les normes concernant les nitrates et/ou les phosphates (tableaux 3, 4).

Les rejets en matières carbonées sont mesurés par les trois paramètres suivants :

La DCO (demande chimique en oxygène) : c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toutes les matières organiques et les matières minérales contenues dans l'eau ;

La DBO5 (demande biologique en oxygène au bout de 5 jours) : c'est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par les micro-organismes pour oxyder la matière organique. On ensemence l'effluent et on le sature en oxygène, puis au bout de 5 jours on mesure la quantité d'oxygène consommée. La DBO5 est en fait une mesure de la fraction organique de la DCO.

Les rejets en matières azotées sont mesurés par 2 paramètres :

Le NTK (azote Kjeldahl) : c'est la mesure des matières azotées sous forme réduite, principalement l'urée, d'origine humaine. Le rejet direct de l'azote réduit dans le milieu consomme de l'oxygène et défavorise la vie piscicole ;

Le NGL (azote total) : c'est la mesure de l'azote total, réduit ou oxydé. L'élimination du NGL signifie que les nitrates formés ont été éliminés (dénitrification). L'élimination des nitrates permet d'éviter les phénomènes d'eutrophisation. Le taux de phosphate (PT) est également réglementé ; les phosphates rejetés dans le milieu sont en partie responsables de l'eutrophisation des cours d'eau. Les stations d'épuration versent une taxe aux agences de l'eau en fonction de leurs rejets dans le milieu naturel. La DBO5, la DCO, le taux de MES et le NTK rentrent dans l'assiette de cette redevance.

Les concentrations moyennes des eaux usées urbaines avant traitement pour ces différents paramètres sont données dans le tableau 8. Pour être conforme à la réglementation, une station d'épuration doit respecter des normes de rejet.

Les échantillons moyens journaliers doivent respecter soit les valeurs fixées en concentration, soit les valeurs fixées en rendement. De plus, les eaux rejetées doivent avoir un pH compris entre 6 et 8,5, et leur température ne doit pas dépasser 25°C (**Edline, 1996**).

Tableau 3. Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en DBO5, DCO et MES.

Paramètre	Concentration maximale autorisée
DBO5	40mg/l
DCO	90 mg/l
MES	30 mg/l

(Source : www.cieau.com).

Tableau 4. Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximale autorisées en azote et phosphore

	Paramètre	Charge brute de pollution organique reçue en kg par jour	Concentration maximale autorisée
Zone sensible à 600 à 6000 15 mg/l l'azote	NGL*	600 à 6000	15 mg/l
		> 6000	10 mg/l
Zone sensible au 600 à 6000 2 mg/l Phosphore	PT	600 à 6000	2 mg/l
		> 6000	1 mg/l

* Ces exigences se réfèrent à une température de l'eau du réacteur biologique aérobie de la station d'épuration d'au moins 12° C. Cette condition de température peut être remplacée par la fixation de périodes d'exigibilité déterminées en fonction des conditions climatiques régionales (Source : www.cieau.com).

5.2. Les paramètres microbiologiques

On constate que les normes ci-dessus ne prennent pas en considération les rejets microbiologiques des eaux usées, principal facteur du risque sanitaire.

Les recommandations nationales et internationales sur la REUE fixent donc, en sus des normes chimiques précédentes, des normes microbiologiques, contrôlées grâce à la mesure de la concentration en germes témoins.

A partir d'eaux usées et grâce aux traitements précédents, il est possible d'obtenir toute une « Gamme » d'eaux de qualités différentes. A chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Dans la partie suivante sont exposés les différents usages possibles.

La protection de la santé publique est un point très important à considérer, compte tenu des risques de contamination inhérents à l'usage des eaux usées spécialement dans le secteur agricole. La protection de la santé publique est assurée par une série de normes et de réglementations adaptées à la spécificité des différents usages (**Massena, 2001**).

6. La réutilisation des eaux usées épurées

6.1. La réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

La réutilisation des EUE est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Elle est, par exemple, très développée aux Etats-Unis, où 34 Etats disposent de réglementations ou de recommandations souvent très exigeantes relatives à l'usage agricole des eaux usées. Il faut citer aussi le Mexique et plusieurs pays d'Amérique du Sud, l'Australie, l'Afrique du Sud, le Japon, la Chine et les pays du Golfe Persique (**Lazarova et al., 2013**).

Le bassin méditerranéen est l'une des régions du Monde où la réutilisation agricole des eaux usées épurées est la plus pratiquée. Par exemple, elle est largement systématisée en Israël, avec une réglementation très inspirée du modèle californien. La Tunisie constitue aussi un autre exemple d'une politique nationale de réutilisation. Pour sa part, l'Espagne se dote progressivement, région par région, d'une réglementation et améliore la qualité des eaux réutilisées.

6.2 Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées

La principale motivation qui justifie un projet de réutilisation des EUE est de réaliser des économies d'eau de première main ou d'accroître la disponibilité de la ressource.

L'utilisation agricole des EUE à des fins agricoles peut être avantageuse sur plusieurs plans notamment :

- La suppression de rejets en eaux de surface ;
- La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture ;
- La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion. (FAO, 2003).

L'irrigation des terres se traduit par une meilleure productivité et des gains économiques conséquents. Comme en témoigne le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** qui compare les rendements dans différentes situations.(Mara, 2004)

6.3 Contraintes liées à la réutilisation des eaux usées épurées

Les applications des projets de réutilisation des EUE sont multiples. L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- l'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes).
- la propagation des microorganismes pathogènes.

6.4. Les risques sanitaires

Les EUE sont une ressource et un danger, cela est dû aux propriétés souvent complexes des eaux usées car les eaux usées véhiculent de nombreux agents biologiques (virus, bactéries, protozoaires pathogènes) qui entrent par voie buccale (par exemple, en mangeant des légumes contaminés par ascaris) ou par la peau (en cas de ankylostomes et de schistosomes), les traitements diminuent mais n'éliminent pas ces polluants qui constituent la principale contrainte à caractère répulsif pour la réutilisation agricole des EUE.

Chapitre II

Généralités sur la tomate industrielle

1. Origine et historique de la tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une espèce de plante herbacée de la famille des solanacées, originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, largement cultivée pour son fruit. Le terme désigne aussi ce fruit charnu, qui est l'un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformé. La tomate est devenue un élément incontournable de la gastronomie de nombreux pays, et tout particulièrement en Grèce, en Italie, en Espagne et en France (Anonyme, 2010 in Ibbari. K 2020). La plante est cultivée, en plein champ ou sous abri, sous presque toutes les latitudes, sur une superficie d'environ trois millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes. La tomate a donné lieu au développement d'une importante industrie de transformation, pour la production de concentrés, de sauces, de jus et de conserves.

L'espèce compte quelques variétés botaniques, dont la « tomate cerise », mais la « tomate groseille » appartient à une espèce voisine, *Solanum pimpinellifolium* L. et plusieurs milliers de variétés cultivées (cultivars).

Compte tenu de son importance économique, elle est l'objet de nombreuses recherches scientifiques, elle est considérée comme une plante modèle en génétique. Elle a donné naissance à la première variété génétiquement transformée autorisée à la consommation commercialisée aux États-Unis dans les années 1990 (Anonyme, 2010 in Ibbari K, et al ,.2020).

Il existe de très nombreuses variétés cultivées de *Lycopersicon esculentum*. La sélection faite par les hommes a privilégié les plantes à gros fruits. On distingue cependant plusieurs catégories de tomates, selon le mode de croissance de la plante 'indéterminé ou déterminé' et surtout selon le type de fruit :

- Les variétés à fruit plat et côtelé, de type tomate Marmande, dont le poids est élevé puisqu'il peut dépasser 1 kg ; les variétés à fruit arrondi, dont le poids varie de 100 à 300 grammes, pour lesquelles il existe des hybrides dont les fruits se conservent plus longtemps ;

- Les variétés à fruit allongé avec une extrémité arrondie, de type Roma, ou

Pointue, de type Chico. Ces dernières variétés sont destinées à l'industrie.

Elles ont toutes un port déterminé et leurs fruits répondent à un certain nombre de critères technologiques liés à leur transformation (**Anonyme, 2010 in KARIMA et al., 2020**).

2. Situation et importances économique de la tomate

2.1 Dans le monde

la tomate est la troisième espèce cultivée au monde, après la pomme de terre et la patate douce, et le deuxième légume le plus consommé (**de Broglie et Guérault, 2005**) la Chine est le principal producteur de tomate avec 50 millions de tonnes en 2013 suivie par 5 pays classés par ordre décroissant comme suit : l'Inde, les Etats Unis, la Turquie l'Egypte et Iran (**FAOSTAT, 2013**) (**tableau 1**).

Les données de la FAO (**FAOSTAT, 2014**) montrent que la production mondiale de la tomate atteint 170 millions de tonnes.

En 2016, la FAO avait estimé à 177 042 359 t/ha la production mondiale de tomate cultivée sur une superficie de 4 782 753 ha soit, un rendement moyen de 37, 01 t/ha. La Chine détient le premier rang mondial (plus de 30% de la production) suivi par l'Inde, les Etats-Unis, la Turquie et l'Egypte (**FAOSTAT, 2016**).

Tableau 5. Production en million de tonnes des principaux pays producteurs de la tomate dans le monde en 2017 (**FAOSTAT, 2017**).

Position	Pays	Production (tonnes)
1	Chine	50664255
2	Inde	18227000
3	Etats Unies	12574550
4	Turquie	11820000
5	Egypte	8533803
9	Espagne	3683600
16	Maroc	1293319
24	Hollande	855000

2.2 En Algérie

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (**MADR, 2009**). Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, où les rendements varient entre 350 Qx/ha à 1500 Qx/ha (**FAO, 2008**).

En effet les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Biskra avec une Production de 2,33 millions de qx, Mostaganem avec 1,33 million de qx, Tipaza avec 1, 04 million de qx et Ain DFELA avec 728.250 qx.

2.3 Dans la wilaya de Tizi-Ouzou :

Dans la wilaya de Tizi-Ouzou, durant la campagne agricole **2016/2017**, est de 41604,50Qx sur une surface de 156,82 ha, soit un rendement moyen de 264,30,Qx- ha , selon la direction des services agricoles des Tizi – Ouzou (**DSA,2017**) .

3. Etude botanique et agronomique de la tomate :

3.1 Classification de la tomate :

La tomate est une plante annuelle de la famille des Solanacées, dont le fruit est une baie. Cette dernière est rouge, parfois jaune ou orangée, de forme ronde ou plus ou moins allongée, lisse ou creusée de sillons. Les fruits sont de grosses baies, toujours charnues, tantôt lisses, tantôt côtelées, qui contiennent, noyées dans la pulpe une grande quantité de petites graines blanches, plates, réniformes, feutrées lorsqu'elles sont sèches (**Chaux et Foury, 1994 ; Shankara et al., 2005**).

Taxonomie

D'après **Arbaoui (1997)**, la tomate est classée dans :

Règne	Végétal
Groupe	Eucaryote
Embranchement	Spermaphyte
Sous embranchement	Angiosperme
Classe	Dicotylédone
Sous-classe	Gamopétale
Ordre	Polémoniacée
Famille	Solanacée
Genre	Lycopersicum
Espèce	<i>Lycopersicum esculentum</i>

Les variétés de tomate cultivées sont très nombreuses. Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques. En effet, ces dernières peuvent être classées selon leur croissance qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé (**POLESE, 2007**)

3.2 Caractérisation morphologique de la tomate :➤ **Appareil végétatif :**

La tomate est une plante herbacée annuelle. On distingue **2** grands types de tiges, celles à croissance déterminée, dont la fonction végétative s'arrête à la fin d'un cycle de production, à la fructification et les types à croissance indéterminées dont la plante peut croître indéfiniment. La plante de tomate produit sa première inflorescence 50 à 60 jours après semis (**Dupriez et Loener, 1987**).

La tige est anguleuse, épaisse aux entre-nœuds, poilue, de consistance herbacée en début de croissance, et tend à devenir un peu ligneuse en vieillissant (**Chaux et Fourry, 1994**).

Les feuilles, longues de 15 à 50 cm et larges de 10 à 30 cm sont alternes, composées, imparipennées et disposées en phyllotaxie hélicoïdale. Elles comprennent 5 à 7 folioles aux lobes très découpés et couvertes de poils glandulaires. (**Figure 2**)



Figure 2 : la plante de tomate

➤ **Appareil reproducteur**

L'inflorescence de la tomate est une cyme. La fleur, actinomorphe avec le tube du calice court, porte 5 sépales persistants de couleur verte. La corolle compte en générale 6 pétales d'une couleur jaune et long d'environ 1 cm, souvent réfléchi en arrière. L'ovaire est supère avec 2 à 9 carpelles. L'androcée est composé de 6 étamines avec des anthères de couleur jaunes entourant le style. La plante est autogame, cependant il existe des possibilités de fécondation croisée. Les abeilles et bourdons sont les principaux pollinisateurs (**Benton, 1999**). Les fruits sont des baies charnues à peau lisse et de forme globulaire plus ou moins aplatie en général avec un diamètre de 2 à 15 cm (**Shankara et al., 2005**). (**Figure 3**)



(A)



(B)

Figure 3. Appareil reproducteur de la tomate (**A**: la fleur, **B** : le fruit)

3.3.1 Exigences climatiques

➤ **Température**

La tomate est une plante exigeante en chaleur durant toute sa végétation. La température optimale est 18-25°C pendant la journée et 15-16°C pendant la nuit, au-dessous de 15°C, la formation des organes florales et la floraison s'arrêtent. A une température au-dessous de 10°C, c'est la végétation qui s'arrête (**Lambert, 2006**).

➤ **Humidité relative**

L'humidité de l'air est un facteur important qui conditionne le bon développement de la culture de tomate. Une humidité de 60% à 65% convient à tous les stades de développement (**Chibane, 1999**).

➤ **Luminosité**

La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité. 1200 heures d'insolation sont nécessaires pendant les 6 mois de végétation. Un éclairage de 14 heures par jour est nécessaire pour une bonne nouaison. Toute fois la photopériode ne doit pas dépasser 18 heures par jour ((**Naika et al., 2005**).

3.3 .2 Exigence pédologiques

➤ Type de sol

Tomate se cultive dans presque tous les sols, depuis les terrains d'alluvions jusqu'aux terres argileuses les plus lourdes. Cependant nous dirons que les sols légers, perméables, meubles et riches en humus lui conviennent particulièrement bien (**Lambert, 2006**).

3.3 Cycle biologique de la tomate

D'après **Gallais et Bannerot (1992)**, le cycle végétatif complet de la graine à la graine de la tomate varie selon les variétés, la durée et les conditions de culture ; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit).

4 .Fertilisation de la tomate

Il est très important de procéder à l'amendement de fond avec la matière organique afin d'enrichir le sol en éléments principaux (azote N, phosphore P, potasse K) et aussi en oligoéléments (cuivre, fer, zinc...), qui peuvent être des éléments limitant, si le sol n'est pas assez bien pourvu, cela peut entraîner une chute de rendement (**Service de l'agriculture 2018**).

4 .1 Fertilisation organiques

La fertilisation organique ou amendements organiques, c'est l'incorporation au sol, de matières organiques (Mo) plus ou moins décomposées, tels que les fumiers. Elle permet d'améliorer la structure du sol et d'augmenter la capacité du complexe argilo-humique à stocker les éléments nutritifs (**Daujat et al., 2015**).

4 .2. Fertilisation minérale

On distingue des engrais minéraux d'origine Éruptive, sédimentaire, ou saline, soit de synthèse ou des transformations industrielles (**SOLTNER, 2003 in Chaabane et Iabdiouene, 2007**).

5 .Maladies et ravageurs des tomates

Le développement de la culture de tomate en milieu tropical n'est pas sans contraintes. Ces contraintes varient selon les conditions climatiques. En effet, La culture de tomate peut être sujette à des contraintes biotiques (attaques de ravageurs, maladies, concurrence de mauvaises herbes, accidents de végétation) ou à des agressions abiotiques (températures élevées, fortes pluies et taux d'humidité élevé). Toutefois, les affections les plus destructrices sont les maladies virales, fongiques et bactériennes, ainsi que les dégâts de nématodes et d'insectes (**Philouze et Laterrot, 1992**).

5.1. Maladies fongiques

Les principales maladies fongiques rencontrées chez la tomate sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6.les maladies fongique de la tomate

Maladie fongique	Symptômes et Période à risques	Prévention et Méthodes de lutte
Oïdium (<i>Oïdium lycopersicum</i>). (figure A)	-Taches poudreuses blanches sur la face supérieure des feuilles. -Dissémination des spores par le vent, apparaît au niveau des passages d'air. attention les jours de vent. -Véhiculé par des insectes ou acariens.	Assurer une bonne aération en évitant l'excès de chaleur. -Supprimer les feuilles basales attaquées par la maladie -Difficilement maîtrisable. -Préventif : Huile d'orange douce. -Curatif : Azoxystrobine ou soufre.
Mildiou (<i>Phytophthora infestans</i>) (figure B)	Taches brunes sur les tiges. -taches marron sur les feuilles et duvet blanc sur la face inférieure. -Plages marbrées de brun et bosselées sur les fruits. -Présence sous abri froid. -Développement les jours humides de juillet à octobre. -Contaminations issues de parcelles de pomme de terre ou de	-Eviter la proximité de parcelles de pomme de terre. -Favoriser l'aération. -Eviter les excès d'azote et d'eau. Lutte : Eliminer débris végétaux, feuilles et fruits contaminés. Traitements à base de cuivre et application de lithothamnium

	tomate contaminées à proximité. Conservation dans ces sols.	
Botrytis (<i>Botrytis cynaræ</i>) (figure c)	-Sur feuille et tige: Apparition des taches brunâtres accompagnées d'un duvet grisâtre. Ces taches peuvent évoluer en chancre sur tiges et pétioles. Sur fruit, on observe une pourriture molle grise. -Chute des fleurs et fruits. -Hygrométrie > à 95%, présence d'eau libre.	Réduire les sources d'infection, destruction des débris végétaux choix de variétés résistantes, évité l'excès d'eau, éviter l'excès d'azote, aération adéquate des serres. Lutte : application de lithothamne en poudrage.
Alternariose (<i>Alternaria solani</i>) (figure D)	Taches brunes concentriques entourées d'un halo jaune sur feuilles. -Taches noires sur fruits. -Développement en climat humide. -Conservation sur débris et dans le sol. -Dissémination par le vent et la pluie.	Utilisation des variétés résistantes. - aération des tunnels. -Rotations des cultures à favoriser. -Repiquage de plants sains. -Elimination des débris végétaux. -Préventif : Huile de neem ou cuivre. Curatif : Azoxystrobine ou cuivre.
Fusariose (FORL) (figure E)	-Le champignon induit la pourriture du système racinaire entraînant le jaunissement du feuillage à partir du bas de la plante puis le dessèchement. -Développement à des T° de 18 à 20°C et lors d'état physiologique fragile des plantes. -Conservation sur débris et dans le sol.	utilisation de terreau sain. -Utilisation de porte-greffe et éviter tout contact entre le collet du greffon et le sol infecté. -Choix de Variété résistante. -traitement de semences. -Destruction des parties touchées. Préventif : Huile de neem ou cuivre

Pythium au niveau racinaire (figure F)	Apparaît lors d'un excès d'arrosage surtout en pépinière et après repiquage. -Flétrissement et mort des plantules.	Eviter les arrosages abondants surtout après repiquage.
--	---	---

Source : ((Blancard, 1997 ; Blancard et al., 2009)

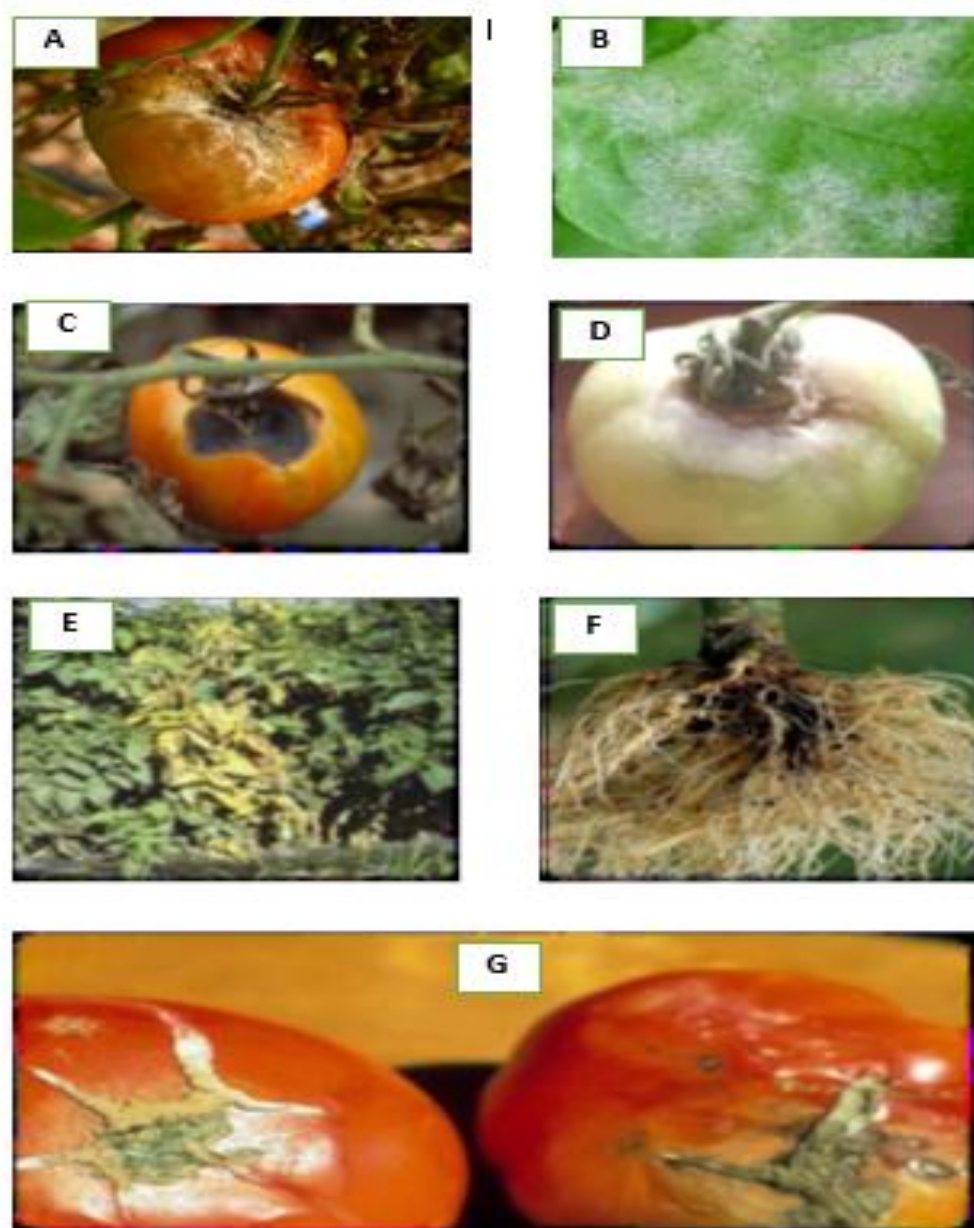


Figure 4: Maladies fongiques de la tomate (Blancard, 1997 ; Blancard et al.2009) :

A : Oïdium sur la feuille de tomate, B : Mildiou (*Phytophthora infestans*) sur le fruit de tomate, C : Botrytis sur fruit de tomate, D : Alternariose (*Alternariasolani*) sur le fruit de tomate, E : Fusariose sur les feuilles de tomate, F : Pythiumracinaire, G : Pourriture grise sur fruit de tomate

5.2 Principaux ravageurs de la tomate :

Les principaux ravageurs de la tomate sont présentés selon leur importance dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 7.Principaux Ravageurs de la tomate.

Ravageurs	Dégâts	Moyens de lutte
La mouche blanche <i>Bemisia. figure : B</i>	Transmission des virus	Décaler les dates de semis par apport à la période d'activité de l'insecte. Arracher les mauvaises herbes qui peuvent héberger les insectes et les virus
Mineuse de feuille de tomate <i>(Tuta absoluta). Figure : F</i>	Mines sur feuille causées par la larve. Attaque les jeunes fruits verts Complète du limbe.	Installation des filets infect prof sur les ouvrants des multi chapelles, entre les bâches plastiques des tunnels.
Nématodes <i>(Meloidogyne incognita)</i>	Formation de galles Sur racines. Perturbation de	Désinfecter le sol. Utiliser des variétés résistantes

Source : (Shankara et al. 2005, GTZ1994).

- Des figures présentent quelques ravageurs de la tomate (Source : Blancard, 1997).

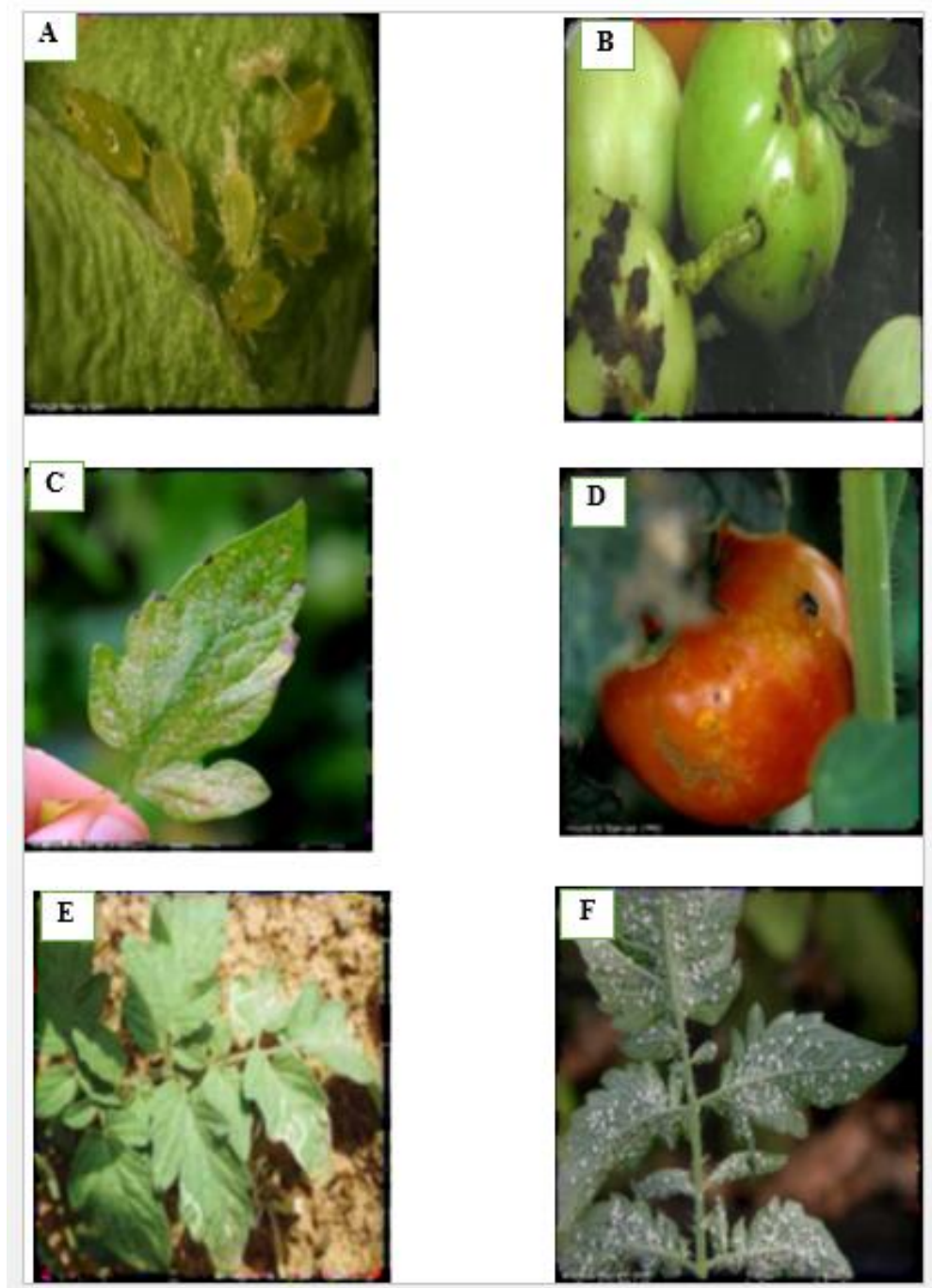


Figure 5. Ravageurs sur tomate: A : Aleurode ou mouche blanche (*Trialeurodes vaporarum*), B : Puceron , C : *Frankliniella occidentalis*, D : Thrips punaise verte (*Nezara viridula*), E : la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*) F :Chenille défoliatrice ou Noctuelle (*Heliothis armigera*) (Source : Blancard, 1997).



Partie II : Matériels et méthodes

1. Objectif de l'essai

Afin d'évaluer l'impact de l'irrigation par les eaux usées épurées et l'eau de source sur l'évolution du taux de carbone et de la matière organique du sol, une expérimentation a été mise en place au niveau de la **STEP** de Boghni en utilisant deux variétés de tomate industrielle (**Roma VF et Rio Grande**), avec un suivi continu de la culture et l'analyse du sol et de l'eau.

2/Présentation de la région d'étude

2.1 Situation géographique

Boghni est une daïra située à environ 38 km au sud-ouest de la wilaya de Tizi Ouzou, à 15 km à l'ouest d'Ouadhia et à 13 km à l'est de Draâ El Mizan. Sa superficie est de 5150 hectares avec 31263 habitants. Elle est située à une altitude de 264m (**Figure 6**).

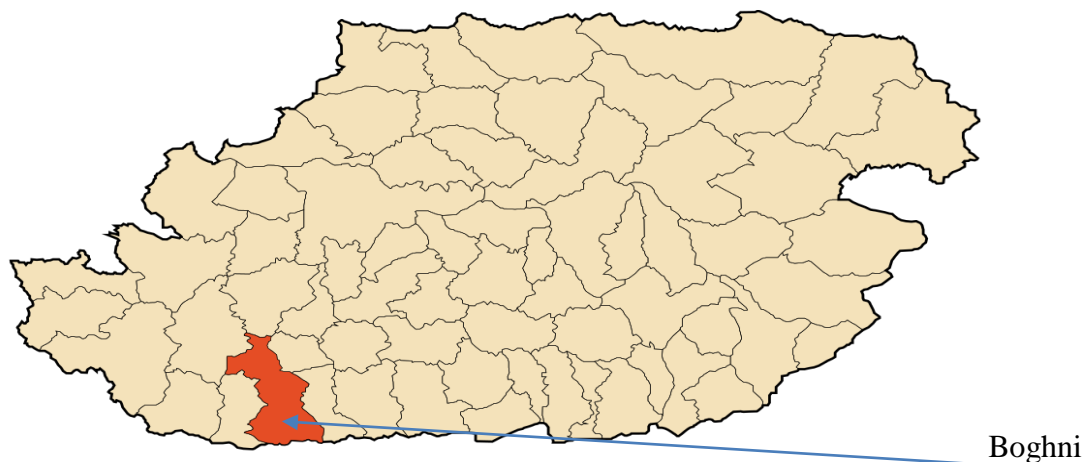


Figure 6. Localisation de la commune de Boghni dans la wilaya de Tizi-Ouzou

2.2 Le climat de la région d'étude

La région d'étude est caractérisée par un climat typiquement méditerranéen dont les caractéristiques peuvent être résumées ainsi : Froid et humide du mois d'octobre à mai (hivers relativement humides avec des précipitations à grandes irrégularités interannuelles), Chaud et sec avec une sécheresse totale bien marquée, se prolonge de juin à septembre.

3. Présentation de la station d'épuration ONA de Boghni

La station s'étale sur environ 1,4 ha. Elle a été réalisée la fin des années 70, sa capacité est d'environ 13000 Eq/ Habitant, à écoulement gravitaire et un réseau unitaire.

La STEP de Boghni traite les eaux usées par le procédé des boues activées à faible charge avec prétraitement, traitement biologique et clarification (**Figure 7**).

Les figures suivantes montrent la localisation géographique de la STEP de Boghni

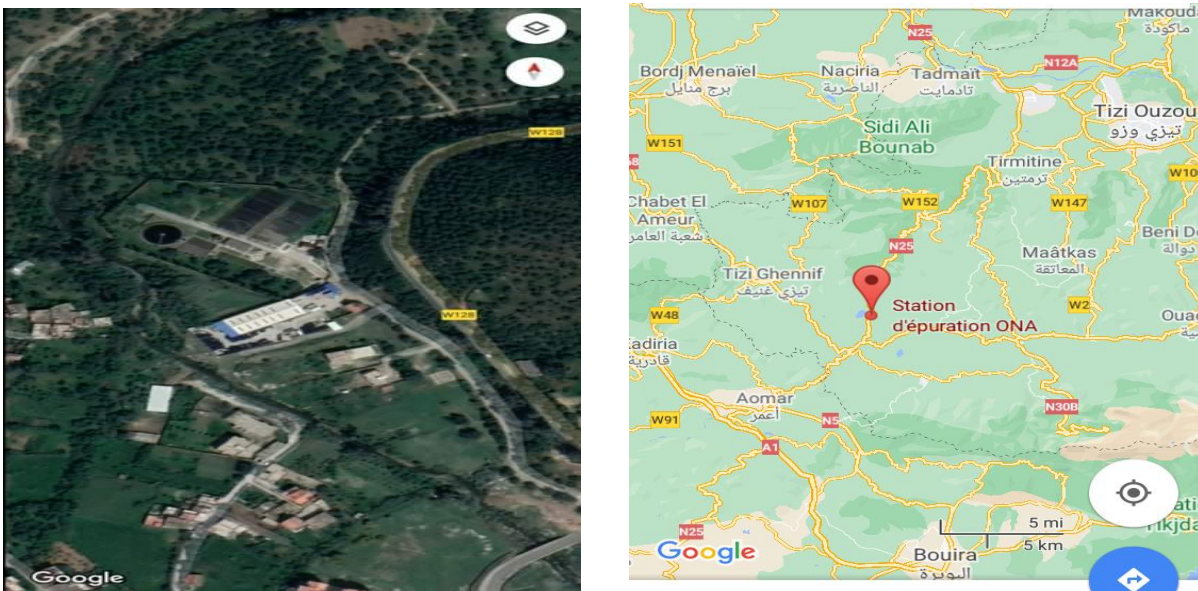


Figure 7. Images satellitaires de la station d'épuration ONA de Boghni

3.1/ Les différents ouvrages de la station de Boghni ONA

Les différents ouvrages de la station de Boghni ONA sont présentés dans la **figure 8**.

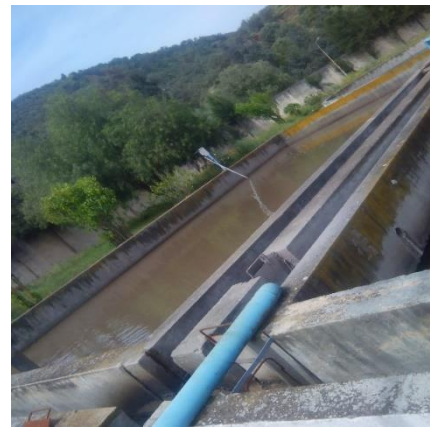
- Le prétraitement : il contient les ouvrages suivants :
 - Un dégrilleur automatique fin
 - Un dégrilleur de secours à nettoyage manuel
 - Dessaleur à bassin doté d'un système Air lift
 - Déshuileur et dégraisseur

Le traitement biologique caractérisés par :

- Un bassin d'aération de volume utile
- Sonde à oxygène, un clarificateurs équipés d'un pont racleur radial



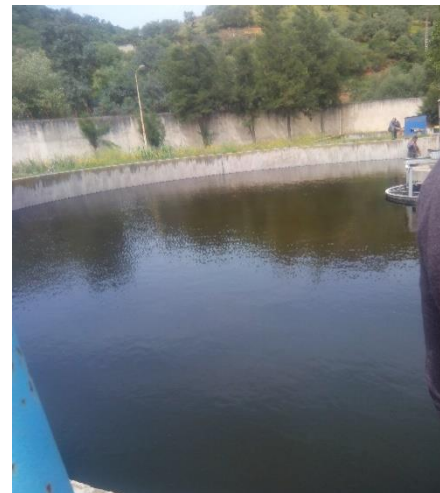
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 8. Les différents traitements d'épuration de la station de Boghni : **A)** Dégrillage ; **B)** traitement biologique ; **C)** Dessablage ; **D)** Clarification.

3.2 / Choix de la culture

Deux Svariétés de tomate Roma et Rio Grand sont choisis comme culture a étudié dans notre expérimentation :

➤ **Roma VF**

Variété de tomate prune, également appelée tomate romaine ou tomate italienne, cette plante qui est originaire de l'Amérique du sud a depuis lors été introduite dans le monde entier, elle fait partie de la famille des solanacées (**figure 9**).

➤ **Rio Grande**

Est une variété demi-saison originaire des USA, à croissance déterminée et pollinisation libre, tomate allongée à peau rouge et une chair ferme, donnant de belles grappes. Elle est inscrite au catalogue européen du GNIS (**figure 10**).



Figure 9. La variété Roma VF

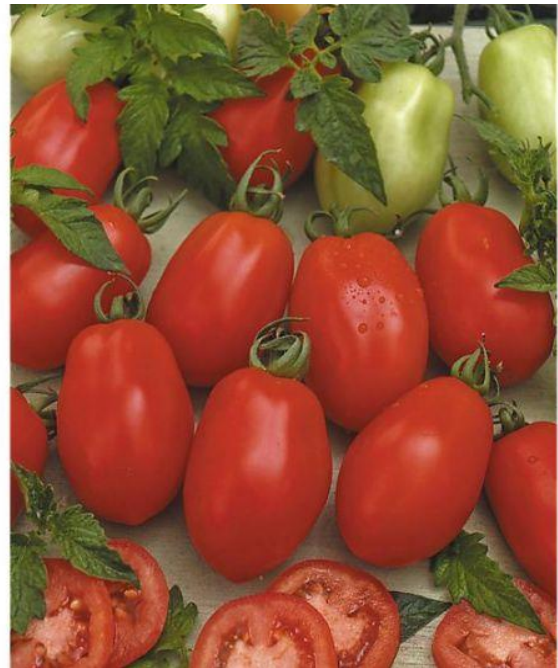


Figure 10. La variété Rio Grande

Les caractéristiques des deux variétés Roma et Rio Grande sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 8. Caractéristiques agronomiques des variétés cultivées

Les caractéristiques
Coloris : rouge
Particularité : Annuelle
Conditionnement : le sachet de 50 graines
Type : semences reproductibles
Label : Agriculture biologique
Calibre : Moyen
Maturité : Mi saison
Sol : Tous types de sol
Température de germination : 20 à 25 °C
Profondeur de semis : Egale à la taille de la graine
Levée des graines : 7 à 10 jours
Technique de semis : en poquet

3.3/ le semis

Les graines ont été semis le 28 février 2021 au laboratoire de science du sol, département d'agronomie, dans des plateaux alvéolés de 35cm sur 60 cm à raison de 3 graines / alvéole. La température est supérieure à 20° C pour obtenir une bonne levée (**Figure 11**).



Figure 11. Le test de germination

3.4/ Echantillonnage du sol

Le sol utilisé dans notre expérimentation a été prélevé dans une parcelle constituée de plusieurs exploitations privées. La zone est située entre trois communes : Boghni, Mechtras et Assi Youcef. La parcelle de prélèvement est d'une surface d'environ 0,25 ha et l'échantillonnage a été fait aléatoirement, sur une profondeur comprise entre 0 et 30 cm à l'aide d'une pelle.

3.5/ la mise en place de la culture

L'essai a été mené en pots, avec une irrigation à ETM selon un dispositif approprié aux cultures, pour une étude comparative, on a divisé le dispositif en deux compartiments équivalents. Une partie irriguée par l'eau épurée et l'autre partie par l'eau potable.

- Les pots ont été remplis avec un peu de gravier comme première couche permettant le drainage et environ 4Kg de sol bien arrosé pour la plantation de la culture de la tomate (**Figure 12**).



Figure 12. A : La préparation des pots

➤ L'irrigation

L'irrigation était continue durant le cycle cultural de façon à garder le sol toujours à sa capacité au champ. La dose retenue était d'environ 2l/plant chaque deux jours pour le mois de Mai, et 3 à 4 litre / deux jours durant le mois de juin jusqu'à la fin de l'expérimentation (**Tableau 9**).

Tableau 9. Calendrier d'irrigation pendant l'essai expérimental

Mai							JUI						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
						1							1
2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	23	24	25	26	27	28	29
30	31						30	31					

Nb : En rouge : jours avec irrigation

En noir : jours sans irrigation

3.6/ Les Paramètres étudiés

➤ Les mesures biométriques

Pour suivre la croissance et le développement des plants de tomates irrigués avec les deux qualités d'eaux (potable et épurée), il est important de mesurer les paramètres morphologiques et agronomiques de la culture : La hauteur et le diamètre de la tige (cm), le nombre et la couleur de feuilles et le nombre des fleurs.

➤ Le dosage de carbone et l'évolution de taux de la matière organique

Les méthodes de détermination du taux de la matière organique par le biais du carbone organique total se basent sur le fait que le carbone organique constitue 58% de la matière organique.

La méthode utilisée c'est la méthode Anne qui consiste à oxyder à chaud le carbone de la MO d'un échantillon de sol dans des conditions définies en utilisant une quantité connue d'un puissant oxydant de bichromate de potassium en milieu sulfurique, le bichromate en excès est titré par un réducteur (le sel de **MORH**) (**Figure 13**).

La formule pour le calcul de Carbone organique % = $[(N - N') * 0,615 * 10 * 100] / p$
MO% = %C*1,72.

Sachant que :

- N : le volume de l'échantillon
- N' : le volume de témoin
- P : Poids d'échantillon
- MO : la matière organique et C : le carbone organique



Figure 13. Dosage de carbone organique et de la matière organique.

Partie III

Résultats et discussion

1/ Caractérisation physico chimique des eaux d'irrigation

Le tableau suivant montre les résultats d'analyse de l'eau utilisé dans l'irrigation (**Tableau 10**)

Tableaux 10. La composition physicochimique des eaux d'irrigation

Caractéristique	Normes EUE et les normes de ES (OMS)		Valeurs eau épure	Eau de source
PH	6,5-8,5	6,5 – 8,5	8,5	7,85
CE	/	<3000	2610	996
T°	/	<30	23	23
Nitrate NO ₃ ⁻ mg/l	<30	/	12,76	1,29
Nitrite NO ₂ ⁻ mg/l	<1	<1	0,141	0,2
PO₄ mg/l	<2	<1	1,67	0,15
MES mg/l	<20	<30	55	0,2
DBO mg/l	<30	<30	26,8	–
BCO mg/l	<90	<90	53,28	–

Les effluents des EUE et les ES appliquées à l'irrigation avaient une réaction alcaline, les valeurs de pH se situant entre 7.85 et 8.5 pour EUE et ES respectivement, ces valeurs se situent donc dans une plage de pH favorable pour l'irrigation comprise entre 6,5-8,4.

D'après (Ayeret Wescot, 1988), un pH élevé correspond à une eau calcaire souillée par des matières organiques, ne contient pas assez de CO₂, l'eau est donc dite « eau incrustante ».

Les résultats de l'analyse montrent que les valeurs de la CE sont de 996 et de 2610 µS /m pour ES et EUE respectivement, cela veut dire que les eaux d'irrigation ont une salinité moyenne d'après les normes de l'OMS qui fixent la CE à une valeur inférieure à 3000 µS /m.

Le phosphore est identifié comme élément clé de l'eutrophisation dans les eaux usées par un grand nombre de chercheurs (Hutchinson, 1957 ; Doeme et Brooks, 1975 ; Doran, 1979, Klawijk, 1981, Baroin, 1984 ; Gros, 1984, Holmgren, 1985, Dussart, 1992 ; Peirce, 1997 ; Cornaz, 2004). Dans les eaux usées, avec un pH d'environ 7,5, la forme prédominante de phosphate est l'orthophosphate ($H_2PO_4^-$; HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}).

L'analyse de l'eau utilisée dans notre essai a donné des valeurs de PO_4 de 1,67 et 0,15 pour les EUE et l'eau de source respectivement. Ces deux valeurs sont inférieures à la norme fixées par l'OMS.

2/Indice de germination

Le taux de germination est de 70% ce qui signifie que les graines sont de bonne qualité.

3/ Les mesures agronomique

Du repiquage à la fructification, plusieurs paramètres du cycle de développement ont été mesurés en fonction du nombre de jours d'irrigation (**Tableau 11**); (**Figure 14**)

Les résultats des mesures agronomiques sont présentés dans le **tableau 11**.

Tableau 11. Mesures agronomiques

Eau	Stade	Eau de source		Eau usée épurée	
		Roma VF	Rio grande	Roma VF	Rio grande
Les variétés					
Les paramètres					
La couleur	Tous les stades	Claire	Claire	Foncé	Foncé
N ^{bre} de feuilles	Plantation	6,5 ± 0,58	8,25 ± 1,26	9,5 ± 1,29	10,5 ± 1,29
	Floraison	47 ± 20,74	71,25 ± 12,04	96,25 ± 16,70	91,75 ± 26,86
	Fructification	47 ± 20,74	72,5 ± 8,83	106,5 ± 14,20	100,75 ± 26,58
N ^{bre} fleurs	Floraison	1,5 ± 0,58	2 ± 0,82	3,25 ± 0,5	3,25 ± 1,26
	FRUCTIFICATION	3 ± 0,82	1,5 ± 0,58	2,5 ± 0,58	2,75 ± 0,96
Diamètres des tiges	Plantation	0.5 ± 0	0.5 ± 0	0.5 ± 0	0.5 ± 0
	Floraison	1,12 ± 0,15	1,25 ± 0,21	1.5 ± 0,39	1,88 ± 0,30
	Fructification	1,82 ± 0,35	2 ± 0,16	2.2 ± 0,29	2.37 ± 0,35
Hauteurs	Plantation	5,75 ± 0,96	5,75 ± 0,5	7,25 ± 0,5	8,75 ± 0,96

	Floraison	25,75 ±5,74	34,25 ± 2,87	35 ± 4,08	45,75 ± 8,06
	Fructification	34 ± 4,32	39,87± 2,39	53,25 ± 2,22	57,5 ± 3,42
N ^{bre} Fruits		2 ± 0,82	2,25 ± 0,5	3 ± 0,82	4,25 ± 0,96

➤ La couleur

Une différence de couleur est remarquée pour les deux variétés en fonction de la qualité de l'eau d'irrigation, une couleur vert foncé a été observé chez les plants irrigués avec EUE, tandis que les plants irrigués avec les eaux de source ont une couleur moins foncé (vert claire) remarquée dès le début de l'irrigation (**Tableau 11**) et (**Figure 15**).

➤ Diamètre

Le diamètre de la tige est représenté dans (**la figure 14**). L'analyse de variance appliquée sur les données relatives au diamètre a révélé une différence significative pour le facteur variétés, type d'eau et nombre de jours d'irrigation, puis entre l'interaction type de l'eau X jours d'irrigation au seuil de 5 %. Cette comparaison des moyennes a montré aussi une différence non significative de l'interaction des trois facteurs étudiés (variété X type de l'eau X jours d'irrigation).

Nos résultats ont montré que les paramètres de croissance (nombre de feuilles par plant, diamètre de la tige et la hauteur des plants), au seuil de 5%, ont montré des différences significatives. (**Tableau 11**) et (**Figure 14**).

➤ Hauteur

La hauteur des plants a été mesurée au moment du repiquage, après 30 jours et 60 jours d'irrigation (**figure 14**). Une différence hautement significative de la hauteur a été obtenue pour les trois facteurs étudiés (variétés, type d'eau et jours d'irrigation. Il ressort de l'analyse de la variance au seuil de 5% que les hauteurs de plants n'ont pas été influencées par la combinaison entre les trois facteurs étudiés.

D'une manière générale, un accroissement de la hauteur des plants a été obtenu pour les deux variétés notamment pour ceux de la variété Rio Grande (32 cm) comparativement à ceux de la variété Roma (26,8 cm). Les plants irrigués avec les EUE ont une moyenne de 34,6 cm et ceux irrigués par l'eau de source ont une hauteur moyenne de 24,2 cm.

D'après la (**figure 14**), on constate que l'accroissement de la tige est plus rapide entre 0 jours (repiquage) et 30 jours d'irrigation (stade floraison) comparativement à la période entre 30 et 60 jours d'irrigation (stade fructification).

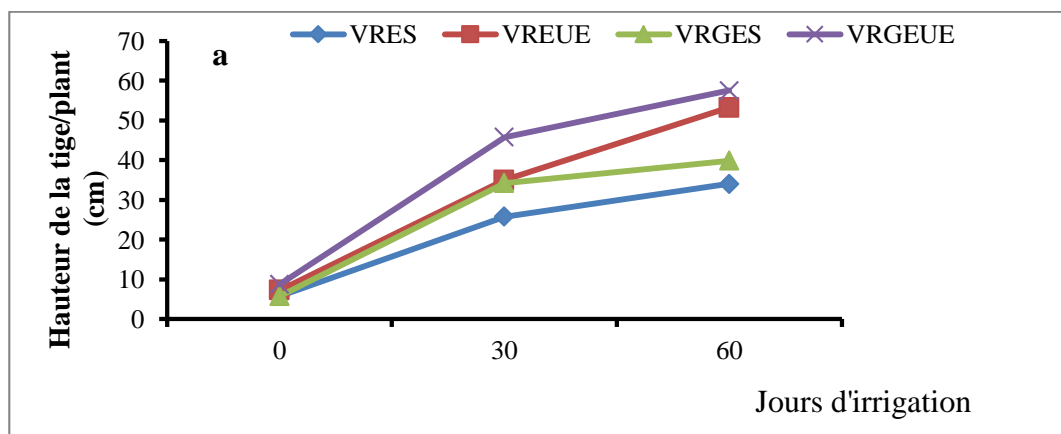
Yin, Hayes et al., 2012, ont montré qu'il existe une relation linéaire entre les hauteurs des plantes et la disponibilité du sol en azote.

➤ Nombre de feuilles

D'après les résultats obtenus, nous notons que l'interaction variété X type de l'eau exerce une influence remarquable sur le nombre de feuille par plant. Autrement dit, les plants de la variété Roma irrigués avec les EUE présentent un nombre de feuilles élevé. Il est d'une moyenne de 70,8 feuilles comparativement aux plants de la variété Roma irrigué par l'ES (33,5 feuilles). Le test de **NEWMAN-KEULS - SEUIL = 5%** a révélé trois groupe homogène (**Tableau 12**)

Tableau 12 Le test de **NEWMAN-KEULS - SEUIL**

Variété X eaux	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0 2.0	VR EE	70,75	A		
2.0 2.0	VRG EE	67,667	A		
2.0 1.0	VRG EP	50,5		B	
1.0 1.0	VR EP	33,5			C



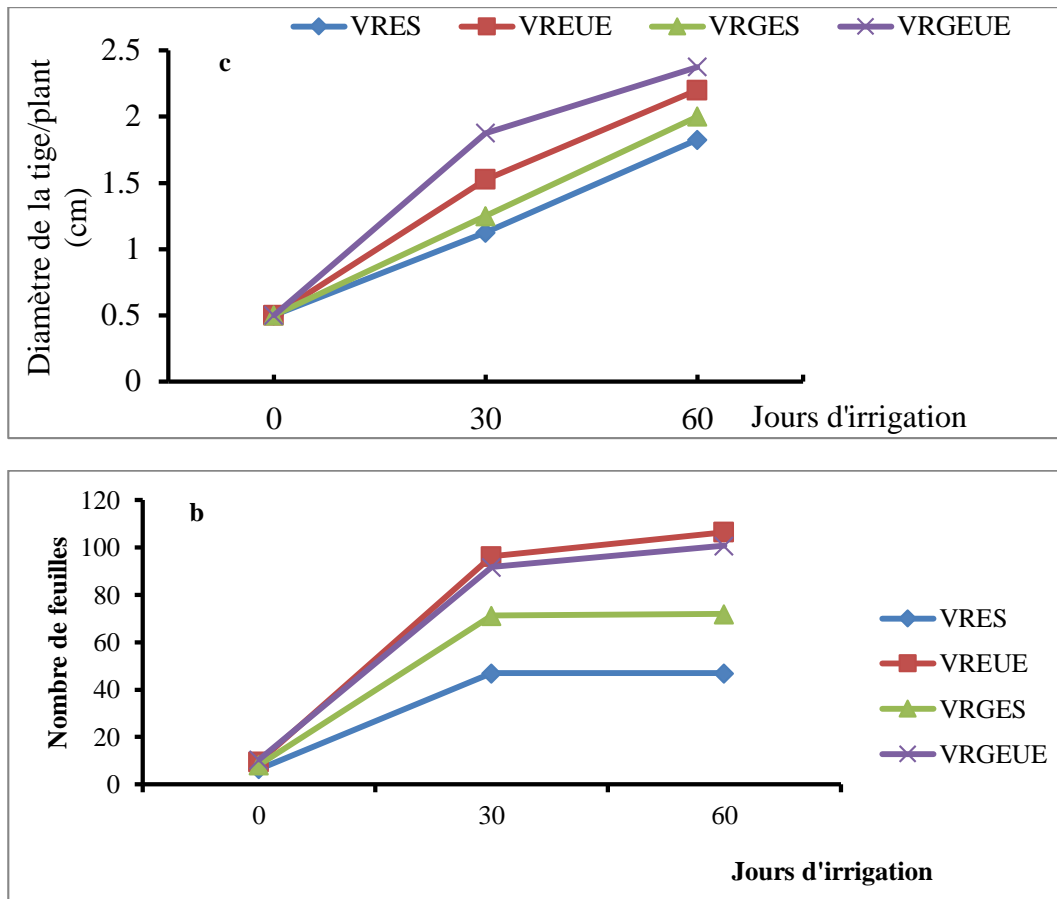


Figure 14. Mesure des paramètres biométriques : a) Hauteur de la tige ; b) Diamètre de la tige et c) Nombre de feuilles



Figure 15. Le développement de la culture de tomate après l'irrigation ;

4/ Caractérisation du sol utilisé

Les résultats d'analyse du sol de notre essai affirment que ce dernier a une texture argilo-limoneuse avec un pourcentage d'argile de 49,85 % et un pH neutre de 7,1.

5/Le carbone et la matière organique du sol initial

Les taux de carbone et de la matière organique du sol à l'état initial sont respectivement de 1,43% et de 2,54%. D'après les normes d'interprétation (**Tableau 13**), le sol est moyennement pauvre en matière organique.

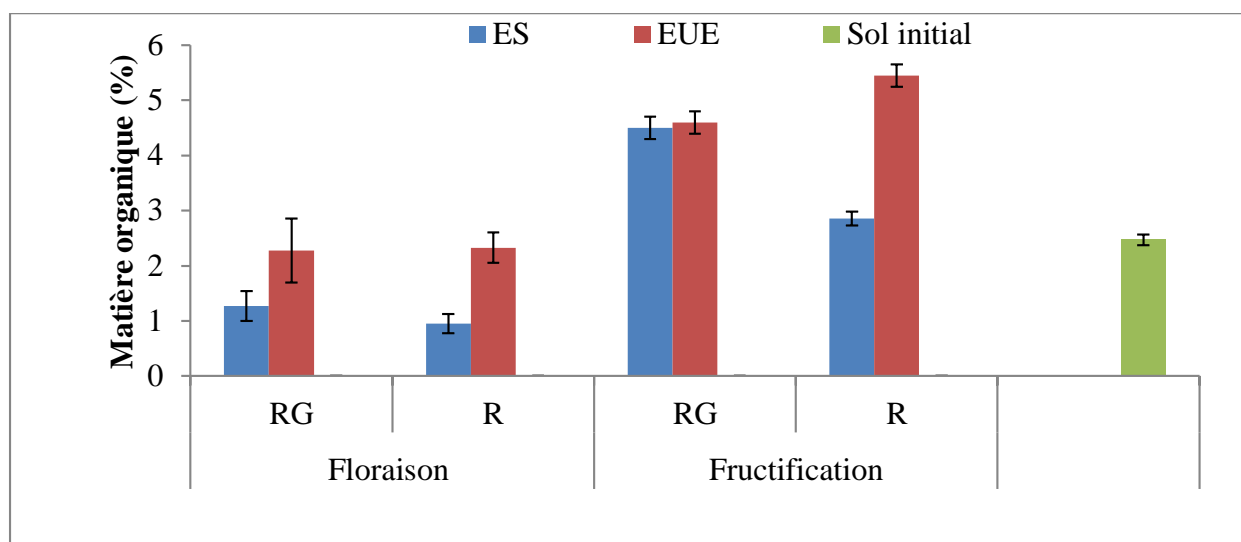
Tableaux 13. Normes d'interprétation pour la matière organique

MO %	Niveau
0,7	Sol très pauvre
0,7_1,5	Sol pauvre
1,5_3,0	Sol moyennement pauvre
3,0_6	Sol bien pourvu
6	Sol très bien pourvu

Source : (memento d'agronomie)

6/Evolution du taux de la matière organique

Les résultats du taux de matière organique sont illustrés dans la **figure 16**

**Figure 16.** Evolution du taux de la matière organique dans le sol en fonction de la qualité d'eau d'irrigation.

Cette illustration présente le taux de la matière organique (%) pendant les phases de floraison et fructification des deux variétés.

Les résultats montrent une nette augmentation de la teneur en matière organique dans les sols irrigués avec les eaux usées. La valeur maximale est de 5,45% sous variétés Roma irriguée avec les EUE comparée aux sols irrigués avec les eaux de source qui présentent une valeur minimale de 0,95 % sous la même variété (Figures 16). Ce résultat peut être expliqué par la teneur élevée des eaux usées en éléments fertilisants et en oligoéléments et elles stimulent l'activité microbologique du sol (MAGESAN et al., 2000 ; RAMIREZ-FUENTES et al., 2002 in BELAID, 2011), favorisant ainsi la minéralisation du carbone organique du sol. Les sols soumis à l'irrigation avec les eaux usées traitées ou brutes se distinguent par une amélioration du taux de la MO, ce qui affecte l'agrégation du sol, sa réserve en minéraux et leur disponibilité ainsi que leur influence sur l'activité biologique (Hillel, 1998 ; Sparks, 2003).

Mancino et Pepper, (1992) observent une augmentation de la matière organique dans les sols irrigués avec les eaux usées. Une plus importante accumulation de la matière organique apportée par les eaux usées, dans l'horizon de surface, est observée aussi par Mohammed et Mazahreh (2003) et par Rusan et al., (2007).

Les eaux usées, à travers leur pouvoir fertilisant, entraînent également une augmentation du taux de la MO et des éléments nutritifs du sol (Rattan et al., 2005; Yadav et al., 2002). Toutefois, ces éléments nutritifs stimulent l'activité microbiologique du sol (Magesan et al., 2000, Ramirez-Fuentes et al., 2002), ce qui favorise la minéralisation de la MO entraînant du même coup la diminution de la CEC du sol (Solis et al., 2005; Herpin et al., 2007).

Par contre nos résultats sont en contradiction avec ceux de Vazquez-Montiel et al., (1996), qui ont mentionné que les apports d'eau usée n'ont pas d'effet positif sur le taux de matière organique du sol

L'analyse statistique a révélé une différence significative des trois facteurs étudiés (tableau de Test de Newmans et Keuls).

Tableau 14. Le tableau de NEWMANS et KEULS

F1 F2 F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
2.0 2.0 2.0	FLORISON R EE	31,673	A				
2.0 1.0 2.0	FLORISON RG EE	26,753		B			
2.0 1.0 1.0	FLORISON RG EP	26,138		B			
2.0 2.0 1.0	FLORISON R EP	16,605			C		
1.0 2.0 2.0	GERMINATION R EE	13,53				D	
1.0 1.0 2.0	GERMINATION RG EE	13,223				D	
1.0 1.0 1.0	GERMINATION RG EP	7,38					E
1.0 2.0 1.0	GERMINATION R EP	5,228					E

Conclusion

Dans ce travail, nous avons évalué l'influence de l'irrigation avec des eaux usées épurées, en comparaison avec les eaux de source, sur l'évolution du taux de la matière organique dans le sol pendant deux mois d'irrigation et deux périodes du cycle végétatif de deux variétés de tomate industrielle (Roma VF et Rio grande).

Les résultats des paramètres physicochimiques de l'eau usée épurée montrent que ce dernier est peut-être utilisé en irrigation sans risque d'après les normes de l'OMS.

On conclut aussi que l'irrigation par les EUE a un effet positif sur le développement et la croissance de la culture de tomate industrielle.

Le taux de la MO a été plus élevée dans le sol irrigué par les EUE comparativement au sol irrigué par les eaux de source pour les deux variétés. Il est à signaler que le taux de la MO est plus important au niveau du sol sous variété Roma comparativement à la variété Rio Grande ce qui explique que la MO a été influencé par la qualité de l'eau et la variété.

Enfin, la réutilisation des eaux usées en agriculture est devenue une pratique courante dans les régions où les déficits en eau les plus prononcés, son utilisation pour l'irrigation agricole est en croissance continue.

Les références bibliographiques

- ✓ **Anonyme, 2010, Ibbari K., 2021.** Effet de la fertilisation organique et minéral sur la production, la protection et la qualité chez une variété de la tomate Hybride (kawa) cultivée sous serre. Mémoire master II. UMMTO.
- ✓ **Asano T., 1998.** Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475 p.
- ✓ **Ayers R.S., Westcot D.W., 1989.** Water quality for agriculture, Bulletin FAO irrigation et de drainage, No. 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Rév. 1,174pp.
- ✓ **Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A., 2004.** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
- ✓ **Blancard D., 1997.** Maladies de la tomate Observer-identifier-lutter. INRA. Paris.Cauchy, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas,
- ✓ **Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret., 1996.** Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 2 : 81-118.
- ✓ **Chaux et Foury., 1994-** Cultures légumières et maraichères. Tome III. : Légumineuses potagères, légumes fruites. Tec et Doc Lavoisier, Paris 563p.
- ✓ **Chibane A., 1999.** Tomate sous serre, Bulletin : transféré de technologie en agriculture, no57 Ed. P.N.T.T.A. Rabat.
- ✓ **De Broglie L.A., Guérout D., 2005.** Tomates d'hier et d'aujourd'hui. Paris, Hoëbeke. 143.
- ✓ **Desjardins R., 1997.** Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique deMontréal, Canada, 303p.
- ✓ **Direction de l'agriculture., 2018.** Fiche technique : La tomate - *Solanum lycopersicum*L.Ed. B.P.100, 98713 Pape'ete – Tahiti - Polynésie française –Rue Tuterai Tāne, route de l'hippodrome.
- ✓ **Edline F., 1979.**L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p.
- ✓ **Faby J.A., Brissaud F. 1997.**L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. OfficeInternational de l'Eau, 76 pages
- ✓ **FAO., 1992.** Wastewater treatment and use in agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 47. Rome.
- ✓ **FAO., 2002.** The use of treated waste water (tww) in forest plantations in the near east region Near east forestry commission (fifteenth session), 5 pages
- ✓ **FAO., 2003.** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p

- ✓ **FAO., 2007.** Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, pp15
- ✓ **FAO., 2008.** L'actualité agricole en Méditerranée. Ed. CIHEAM .33
- ✓ **FAO., 2014.** Base de données statistiques de l'organisation de l'agriculture et de l'alimentation.
- ✓ **FAO., 2016.** <http://FAO> production mondiale de la tomate.
- ✓ **FAO., 2019.** <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>
- ✓ **FAOSTAT., 2013.** Base des données des statistiques de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- ✓ **Gallais A. et Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de sélection. Ed. INRA, Paris. 382 p.
- ✓ **Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques ; aide-mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier. Paris, 220p.
- ✓ **Hamoda M.F., 2004.** Water strategies and potential of water reuse in the southMediterranean countries. *Desalination* 165, 31-41
- ✓ **Lambert L., 2006.** Lutte anti insectes appliquée aux tomates de serre, MAPAQ, (QC). Profil de la culture des tomates de serre au Canada Programme de réduction des risques liés aux pesticides Centre pour la lutte antiparasitaire. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- ✓ **Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., Alday Ansola J., 2003.** L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 9 : 64-85.
- ✓ **LAZAROVA et al., 2003 :** L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyse d'exemples mondiaux. *Techniques, sciences et méthodes*, N9 pages 64 – 85
- ✓ **MADR., 2009.** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction des Statistiques.6
- ✓ **Mara D., 2004.** Domestic wastewater treatment in developing countries. *Earthscan Publications Earthscan Publications*, xvi, 293 p.
- ✓ **Masséna P.A., 2001.** Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office international de l'eau, 14 pages. Martin G. (1979)., Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris, 279p
- ✓ **Naika S., De Jeude JVL., De Goffau M., Hilmi M. et Van Dam B., 2005.** La culture de la tomate (production, transformation et commercialisation) cinquième édition, Edition: Wageningen. Pays-Bas. 105 p.

- ✓ **Qadir M., Sharma B.R., Bruggeman A., Choukr-Allah R., Karajeh F., 2007.** Nonconventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural water management* 87, 2 – 22
- ✓ **Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. science international, Paris, 689p.
- ✓ **Polese J.M., 2007.** La culture des tomates, Artémis, coll. « Les clefs des jardinages ». Paris. P95.
- ✓ **Organisation mondiale de la santé., 2012.** *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères.* 2012. Vol. IV.
- ✓ **Vaillant J.R., 1974.** Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.
- ✓ **Xanthoulis D., 1993.** Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. *Tribune de l'eau* n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp: 27-32.
- ✓ <http://www.cieau.com>