

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou
Faculté Des Sciences Biologiques Et Agronomiques
Département Des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'étude

En vu
de l'obtention du diplôme de master II en sciences agronomiques

Spécialité : production végétale.

THEME

**Essai de substitution de la tourbe par un compost
d'origine viticole dans la production de jeunes plants de
tomate *Lycopersicon esculentum* Mill en situation de
contraintes hydriques**

Présenté par : M^r LAZIZI Kamal

Jury :

Présidente :	M ^{me} BOURBIA S.	M.C.A à l'U.M.M.T.O
Promotrice :	M ^{me} BOUTEBTOUB W.	M.C.B à l'U.M.M.T.O
Examineurs :	Mr. AIT SAID S.	M.C.A à l'U.M.M.T.O
	M ^r . RABHI KH.	M.C.A à l'U.M.M.T.O

Année Universitaire 2018 - 2019

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force et l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à ma promotrice, M^{me} BOUTEBTOUB W. Maître de conférences à l'U.M.M.T.O, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Aux responsables de l'ITCMI notamment la directrice de la station expérimentale des ISSER M^{me} MOKRAB L. qui m'a encouragée dans ma démarche et tous les travailleurs de cette institution.

J'exprime toute ma reconnaissance à M^{me} BOURBIA S. Maître de conférences à l'U.M.M.T.O pour avoir bien voulu accepter de présider le jury de ce mémoire.

Que Mr. AIT SAID S. Maître de conférences à l'U.M.M.T.O, trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu juger ce travail.

Que Mr. RABHI KH. Maître de conférences à l'U.M.M.T.O, trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu juger ce travail. Je voudrais le remercier particulièrement pour son aide à faire les analyses statistique avec le logiciel R.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers Mr HAIKEM R. qui nous a fourni le compost sur lequel nous avons travaillé. Aux ingénieurs de labo de la faculté d'Agronomie Mme TAIB Z. et Mme TIBICHE G. qui m'ont aidé à réaliser les analyses du laboratoire.

Enfin, la réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes, notamment les étudiant de ma promotion (production végétale) à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes parents pour leur amour, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer. Que ceci puisse satisfaire leurs vœux et enrichir leurs héritages pour que leurs efforts ne soient pas vains.

A mes sœurs et mes frères pour leur tendresse, leur complicité et leur présence ainsi qu'à leurs petites familles respectives

A ma petite famille, mon épouse SADJIA, qui a su me supporter durant toute cette période du travail, pour les aides qu'elle m'a prodiguées et mes deux bambins AKSEL et DYLAN que j'aime beaucoup

A ma belle famille et toute ma famille ainsi qu'à mes amis

Liste des tableaux

Tableau N°1 : Classification des tourbes en fonction de leurs couleurs et de leurs origines.	8
Tableau N°2 : Composition biochimique moyenne des tourbes en fonction de leurs compositions botaniques initiales et de leurs degrés d'évolutions.....	8
Tableau N°3 : Exigences de la tomate en température et en humidité selon les stades de croissance.....	19
Tableau N°4 : Exportation d'une tonne de tomate en éléments majeurs.....	21
Tableau N° 5 : Identification et composition des mélanges confectionnés.	25
Tableau N° 6 : Groupes homogènes du paramètre hauteur des plants.	42
Tableau N° 7 : Groupes homogènes pour le paramètre nombre de feuilles.	45
Tableau N°8 : Groupes homogènes pour le paramètre longueur des feuilles.....	49

Liste des figures

Figure N°1 : schéma du cycle physiologique de la tomate.	18
Figure N°2 : photographie des deux substrats purs utilisés pour confectionner les autres substrats.....	25
Figure N°3 : photographie montrant les substrats confectionnés.....	26
Figure N° 4 : photographie montrant la pochette de la variété utilisée (Mercur).	27
Figure N°5 : photographie des plants transplantés.....	28
Figure N°6 : photographie de la levée des graines de blé semées pour tester la phytotoxicité du compost.	28
Figure N°7 : boîtes de Pétriensemencées.	29
Figure N°8 : schéma de l'essai germination.....	29
Figure N°9 : illustration du dispositif expérimental split plot.....	30
Figure N°10 : dispositif expérimental split plot de l'essai fréquence –substrats.	31
Figure N°11 : photographie montrant la balance de précision à gauche et l'étuve droite.....	32
Figure N°12 : densités apparentes des substrats.....	34
Figure N°13 : pH des différents substrats.	34
Figure N°14 : conductivités électriques des différents substrats.	35
Figure N°15 : évolution du nombre de graines germées par substrats.....	36
Figure N°16 : taux de germination dans les différents substrats.....	37
Figure N°17 : longueur de la plus grande racine (cm) des plants dans les différents substrats en fonction de la fréquence d'arrosage.....	37
Figure N°18 : poids sec des racines (g) selon le type de substrat et la fréquence d'arrosage.	39
Figure N°19 : croissance de la hauteur de la tige dans les différents substrats avec les 3 fréquences d'arrosage.....	40
Figure N°20 : effet du type du substrat et la durée de la fréquence d'arrosage sur la hauteur des plants.	41
Figure N°21 : évolution du nombre de feuilles dans les différents substrats avec les fréquences d'arrosage.....	43
Figure N°22 : effet du type du substrat et la fréquence d'arrosage sur le nombre de feuilles par plants.....	45

Figure N°23 : évolution de la longueur des feuilles dans les différents substrats en fonction des fréquences d'arrosage.	46
Figure N°24 : effet de la fréquence d'arrosage sur la longueur des feuilles (cm) dans les différents substrats.	48
Figure N°25 : poids sec de la partie aérienne des plants dans chaque substrat avec les différentes fréquences d'arrosage.....	50
Figure N°26 : matière sèche totale produite par les plants dans les différents substrats avec les trois fréquences d'arrosage.	51
Figure N°27 : rapport entre la matière sèche foliaire et racinaire des plants dans les différents substrats avec les différentes fréquences d'arrosage.	52

Table des matières

Introduction	1
Première partie : Etude bibliographique	
Chapitre I : Supports de culture	
1- Caractéristiques des supports de culture pour la production de plants.....	5
1-1- Propriétés physiques	5
1-1-1-Texture et structure	5
1-1-2-Porosité totale	5
1-1-3-Capacité de rétention d'eau	6
1-1-4-Masse volumique.....	6
1-2- Propriétés chimiques	6
1-2-1-pH	6
1-2-2-Capacité d'échange cationique (CEC)	6
1-2-3- Conductivité électrique (salinité).....	6
1-2-4-Taux de stabilité.....	7
2- La tourbe comme principal substrat traditionnel pour la production de plants	7
2-1- Classification des tourbes	7
2-1-1-Compositions botaniques	7
2-1-2-Classification commerciale	7
2-1-3-Etats de décomposition	8
3- Le compost comme support de croissance pour la production de plants.....	9
Chapitre II : La plante face au déficit hydrique	
1- Introduction	12
2- Effets du déficit hydrique sur la plante	12
2-1- Effet sur la transpiration	13
2-2- Effet sur la photosynthèse.....	13
2-3- Effet sur la surface foliaire	13
2-4- Effet sur la capacité d'enracinement	14

2-5- Ajustement osmotique	14
---------------------------------	----

Chapitre III : La tomate

1- Introduction	16
2- Classification de la tomate	16
2-1- Classification botanique	16
2-2- Classification génétique	16
2-2-1- Variétés fixées	16
2-2-2- Variétés hybrides F1	16
2-3- Classification selon le mode de croissance	17
2-3-1- Variétés à croissance indéterminées	17
2-3-2- Variétés à croissance indéterminées.....	17
3- Caractéristiques de la plante	17
3-1- Caractéristiques morphologiques	17
3-1-1- Système racinaire.....	17
3-1-2- Tige	17
3-1-3- Feuilles.....	17
3-1-4- Fleurs	18
3-1-5- Fruits	18
3-1-6- Semence	18
3-2- Caractéristiques physiologiques : Cycle physiologique	18
4- Exigences pédoclimatiques	19
4-1- Exigences climatiques	19
4-1-1- Température	19
4-1-2- Humidité	19
4-1-3- Lumière	20
4-2- Exigences édaphiques	20
4-2-1- Sol	20
4-2-2- pH	20
4-2-3- Salinité du sol	20
5- Exigences nutritionnelles	20

5-1- Besoins en eau	20
5-2- Besoins en éléments fertilisants	21

Deuxième partie : partie expérimentale

Matériels et méthodes

1- Objectifs de l'expérimentation	24
2- Méthodologie	24
3- Lieu de l'expérimentation	24
4- Dispositif cultural	25
4-1- Substrats	25
4-1-1-Substrats purs	25
❖ Tourbe	25
❖ Sable	25
❖ Compost	25
4-1-2-Substrats de culture en mélange	25
5- Mesure réalisées	26
5-1- Caractéristiques physico-chimique.....	26
5-1-1-Densité apparente	26
5-1-2-Détermination du pH	27
5-1-3-Conductivité électrique	27
5-2- Caractéristiques biologiques des substrats	27
5-2-1-Matériel végétal	27
❖ Espèce et variété	27
❖ Test préliminaires	28
- Test de phytotoxicité	28
- Test de germination des graines	29
5-2-2-Essais réalisés	29
5-2-2-1-Essai de germination	29
5-2-2-2-Essai fréquences d'arrosage-substrats.....	30
5-2-3-Mesures effectuées	32
6- Matériel nécessaire pour effectuer ces mesures	32

Résultats et discussion

1- Etude physico-chimique des substrats	34
1-1- Densité apparente	34
1-2- pH	34
1-3- Conductivité électrique (CE)	35
2- Essai de germination	35
2-1- Evolution du taux de germination	35
2-2- Taux de germination	36
3- Essai substrat- fréquence d'arrosage	37
3-1- Longueur de la plus grande racine dans les différents substrats avec les trois fréquences d'arrosage	37
3-2- Poids sec des racines	38
3-3- Evolution de la croissance des tiges dans les différents substrats avec les différentes fréquences d'irrigations	39
3-4- Hauteurs des tiges	41
3-5- Evolution du nombre de feuilles dans chaque substrat avec les trois fréquences d'arrosage	43
3-6- Nombre de feuilles	44
3-7- Evolution de la longueur des feuilles dans les différents substrats avec les trois fréquences d'arrosage	46
3-8- Longueurs des feuilles	48
3-9- Poids sec de la partie aérienne	50
3-10- Matière sèche totale	51
3-11- Rapport entre la matière sèche foliaire et racinaire	52
4- Discussion	53
Conclusion et Perspectives	57
Références bibliographiques	58
Annexes	63

INTRODUCTION

L'usage d'un matériel végétal sélectionné aussi coûteux que les semences hybrides et les exigences élevées des cultures protégées ont conduit à la nécessité de produire des plants de bonne qualité provenant des pépinières. Unal (2013), a défini un plant de pépinières comme un matériel de multiplication végétative germé, développé sur un substrat (en serre ou sur le champ), pour être transféré sur un autre site de culture final.

Le choix du substrat approprié est un facteur important pour favoriser la croissance optimale des plants (Raviv, 2012). Le substrat de culture a pour objectif principal de répondre aux besoins d'une bonne croissance des plants dans un espace restreint et de préparer les plantules à une transplantation réussie sur le terrain. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un substrat ont une influence sur la résistance de la plante *vis-à-vis* des maladies et aux différents stress (Boehm 1999).

La tourbe constitue le substrat par excellence pour la production de plants en pépinière hors sol. La sur-utilisation de celle-ci réduit les réserves en ressources naturelles non renouvelables et participe dans la détérioration de l'environnement (Zaller, 2007). Les tourbières en Algérie sont rares, la plus connue est celle d'El-Kalla. Les pépiniéristes importent de grandes quantités dont l'origine est inconnue, et à des coûts prohibitifs qui constituent un frein économique pour le fonctionnement des pépinières.

Le compostage des résidus organiques est une bonne alternative de substitution qui permet de valoriser cette biomasse (Clemmensen 2004). Plusieurs recherches ont montré que les composts produits à partir de diverses ressources organiques (fumiers, écorces, déchets verts...) ont des effets bénéfiques sur la production de plants et pourraient servir comme un substitut partiel de la Tourbe dans la confection des substrats de culture (Jayasinghe, 2012). Des travaux antérieurs réalisés à l'université UMMTO de Tizi-Ouzou, par Boussa. et Fettis. (2018), sur un compost issu des sous produits oléicoles (grignons d'olives et margines), ont montré que la tourbe peut être substituée partiellement par ce compost.

L'Algérie dont le climat est semi-aride, est de plus en plus touchée par la sécheresse. Avec les changements climatiques actuels, les agriculteurs doivent adopter de meilleures techniques de gestion de l'eau dans leurs exploitations. Réduire les quantités d'eau apportées est l'une de ces techniques. De ce fait, connaître les mécanismes d'adaptation des plantes vis-à-vis de la sécheresse et les limites de leur tolérance agronomique, nous permet d'ajuster la fréquence d'irrigation de façon à atteindre une production de qualité aussi élevée que possible.

L'objectif de notre travail consiste à introduire un compost d'origine viticole, produit localement, comme substrat de substitution (partiel ou total) de la tourbe en pépinières maraichères. Cela permettrait de limiter les quantités de tourbe employées, réduisant ainsi leurs importations. Nous avons associé aux substrats différentes fréquences d'arrosage dans le but d'étudier les réactions des plants à des situations hydriques différentes.

Nous avons choisi pour notre étude, la tomate comme matériel végétal de par ses grandes exigences hydriques et sa particularité d'être le premier légume cultivé sous serre en Algérie.

Notre travail est constitué de quatre parties :

- Etude bibliographique sur :
 - o supports de culture,
 - o la plante face au déficit hydrique et
 - o la tomate ;
- Matériel et méthodes ;
- Résultats et discussion ;
- Conclusion et perspectives

Première partie

Etude bibliographique

CHAPITRE I

LES SUPPORTS DE CULTURE

1- Caractéristiques des supports de culture pour la production de plants

Les milieux de culture doivent répondre aux exigences des semences et des plants et doivent posséder les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques nécessaires pour germer et faire pousser des plantes.

1-1- Propriétés physiques

Les propriétés physiques du support de culture sont les paramètres les plus importants liés aux performances des plantes en pots (Abad et *al.* 2001 ; Pagliarini et *al.* 2012). L'eau facilement absorbable devrait se situer entre 20 et 30%, et l'eau difficilement absorbable ou liée devrait être la plus basse possible pour donner le meilleur substrat en termes de capacité de rétention d'eau (Amha et *al.* 2010). La distribution de l'air, de l'eau et des solides dans un milieu dépend de plusieurs facteurs, dont l'espace des pores, la densité apparente, la répartition granulométrique, la forme et le volume du récipient et la sédimentation du milieu (Abad et *al.* 2001).

Selon Abad et *al.* (2001) ; Pagliarini et *al.* (2012), d'une façon générale, le domaine des valeurs des paramètres physiques acceptées est consigné ci-dessous :

1-1-1- Texture

La texture fait référence à la taille et à la distribution des particules dans le sol ou le substrat. Elle est liée à la rétention d'eau et à la porosité de l'air. Plus la grosseur des particules sont élevées, plus la capacité de rétention de l'eau est faible. De petites tailles de particules indiquent des valeurs élevées d'eau facilement disponible (Schmilewski 2009). Un bon substrat devrait avoir une texture moyenne à grossière, correspondant à une distribution granulométrique comprise entre 0,25 mm et 2,5 mm (Benito et *al.* 2006).

1-1-2- Porosité totale

Elle détermine l'espace libre disponible pour la circulation de l'eau, de l'air et le développement des racines. Le degré de porosité est responsable d'une bonne capacité d'échange gazeux pour le système racinaire. En général, les grands pores facilitent l'aération, tandis que les petits pores et fins favorisent la rétention d'eau. La porosité est considérée comme bonne lorsqu'elle se situe entre 50 % et 80 % en volume (Beardsell et *al.* 1979 ; Jaenicke 1999)

1-1-3- Capacité de rétention en eau

C'est la quantité d'eau retenue par le substrat après infiltration. Elle dépend du support de culture et du conteneur. L'eau difficilement absorbable ou liée devrait être la plus basse possible pour donner le meilleur substrat en termes de capacité de rétention d'eau. La capacité de rétention d'eau idéale est de 40 % à 65 % dont 25 % à 30 % d'eau disponible pour les plantes (Abad et *al.* 2001, Amha et *al.* 2010).

1-1-4- Masse volumique

C'est la masse de particules de matière sèche divisée par le volume total qu'elles occupent. Elle est strictement liée au degré de compactage des particules. Elle ne devrait pas dépasser 0,4 g cm⁻³ pour la production de plants (Abad et *al.* 2001)

1-2- Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du milieu de croissance formulé affectent la nutrition et la croissance de la plante (Salifu et *al.* 2006). Les caractéristiques chimiques les plus importantes des milieux de culture qui déterminent un bon substrat sont d'après Raviv et *al.* (2002) :

1-2-1- pH

Il est défini comme l'acidité du milieu. Le pH du substrat affecte la mobilité et la disponibilité des nutriments. S'il n'est pas dans la plage souhaitée, les nutriments peuvent devenir soit indisponibles, soit toxiques. Le pH souhaité est de 5,5 à 6,5 (Jaenicke, 1999).

1-2-2- Capacité d'échange cationique (CEC)

Elle représente la capacité d'un matériau à adsorber des ions chargés positivement. C'est l'un des facteurs les plus importants affectant la fertilité d'un substrat de croissance. Une CEC supérieure à 140 meq / 100 g entraîne une rétention d'éléments nutritifs dans le milieu. Une CEC inférieure de 100 meq / 100 g peuvent provoquer une lixiviation des éléments nutritifs (Lemaire 1995).

1-2-3- Conductivité électrique (salinité)

C'est l'expression de la capacité d'une solution à conduire un courant électrique. Elle est liée aux sels solubles totaux d'un extrait saturé de sol ou de matière organique. La valeur moyenne pour un substrat idéal est de 0,42 dS / m dans une plage de 0,33 à 0,51 dS / m (Abad et *al.* 2001). Une CE élevée entraîne une faible croissance des plants.

1-2-4- Taux de stabilité

Le rapport C/N a été utilisé comme indice de croissance des supports pour représenter sa stabilité. Il indique aussi la tendance du support à une décomposition rapide, puis à une diminution du volume et de l'aération. Un rapport C/N de 15 permet aux plantes d'absorber de l'azote sans lixiviation (Dresboll et Magid 2006). Un rapport C/N plus élevé génère un grand risque d'immobilisation d'azote, tandis qu'un rapport C/N plus faible convient mieux à la production de plantes en pépinières (Zucconi et *al.* 1981).

2- Tourbe comme principal substrat traditionnel pour la production de plants

Les tourbières couvrent une surface d'environ 400 millions d'hectares répartis sur toute la surface terrestre (Grion-Eyharabide, 1996 *in* Morel, 2000). La quantité de tourbe blanche consommée annuellement a été estimée à environ 30 millions de m³, dont la moitié est utilisée pour la production de supports de culture pour l'horticulture commerciale et 25 % de celle-ci est largement utilisée dans les pépinières (Altmann 2008).

L'utilisation de la tourbe comme support de croissance suscite de plus en plus d'inquiétudes environnementales et écologiques, car sa récolte met en péril les écosystèmes des zones humides en voie de disparition (Zaller, 2007). Plusieurs organisations environnementales telles que l'International Mire Conservation Group (IMCG); la Société internationale des tourbières (IPS), et la Commission de la gestion des écosystèmes de l'UICN (CEM) ont élaboré un plan d'action mondial pour les tourbières (GAPP). L'énoncé de vision du GAPP reconnaît l'importance des tourbières pour le maintien de la diversité mondiale des écosystèmes et des espèces.

2-1- Classification des tourbes

Il y a plusieurs critères de classification des tourbes qui sont fonction de leurs :

2-1-1. Compositions botaniques

Tourbe à sphaignes (sphaigne et bryophytes), tourbe herbacée (graminées joncs, phragmites...), tourbe ligneuse (dès qu'un tiers de tourbe est constitué de fragment de bois).

2-1-2- Classification commerciale

Sur le plan horticole la classification commerciale fait surtout appel à la couleur, à l'origine ou au pH des tourbes. Le tableau suivant illustre cette classification :

Tableau N° 1 : Classification des tourbes en fonction de leurs couleurs et de leurs origines

Couleur	Végétaux originels	pH
Blonde	sphaignes	3,8-4,5
Brune	Sphaigne + Eriophorum	4,5-5,5
Noire	Carex	5,5-6,5
Noire	Roseau phragmite	7,0-7,5

Source ((Valat, 1989 in Morel, 2000)

2-1-3- Etats de décomposition

Le tableau qui suit nous indique les différentes tourbes en fonction de leurs états de décomposition :

Tableau N°2 : Composition biochimique moyenne des tourbes en fonction de leurs compositions botaniques initiales et de leurs degrés d'évolutions. Les valeurs sont rapportées à la teneur en carbone total (Valat, 1989 in Morel, 2000).

Type botanique	Type de décomposition	Cellulose %	Hémicellulose %	Humine %	Substance Humique %
Bryophytique		9-36	30-58	23-43	10-17
Sphaignes	Peu décomposée	21	31		
	Décomposée	16	25		
Hypnum	Peu décomposée	25	19		
	Décomposée	4	11		
Herbacée et bryophytique		8-18	30-52	28-56	10-41
Herbacée		8-12	22-33	31-58	12-34
Carex	Frais	28	18		
	Evoluée	12	21		
Herbacée et ligneux		6-10	25-33	39-56	12-26
Tourbe ligneuse	Décomposée	7-11	26-29	27-50	21-39

3- Compost comme support de croissance pour la production de plants

La demande croissante et les coûts croissants de la tourbe comme support de culture ont conduit à la recherche de substrats de haute qualité à faible coût. L'intérêt de trouver des substrats peu coûteux et facilement disponibles pour remplacer la tourbe est donc devenu très important. Différents matériaux, susceptibles de remplacer ou de s'associer à la tourbe dans la formulation du milieu de culture ont été évalués. Il s'agit notamment de la fibre de coco, de l'écorce de pin et de la fibre de bois (Frost et al. 2002) ainsi que des matériaux transformés en sable, en tuf (argile expansée, perlite et vermiculite). (Gruda et Schnitzler 2004).

Le compost peut être défini comme un matériau hétérogène obtenu par dégradation partielle de mélanges de déchets organiques de différentes origines par un processus exothermique réalisé par des microorganismes aérobies. Le compost provenant de diverses matières premières est une ressource renouvelable qui peut minimiser l'impact environnemental par l'élimination des déchets. D'après Ceglie et al. (2015), le compost représente de loin le constituant du milieu de culture le plus étudié. Il peut avoir des propriétés physiques, chimiques et biologiques pouvant contribuer à la réduction partielle de la tourbe dans les formulations des milieux de croissance (Clemmensen 2004). Cependant, son utilisation est entravée par le manque d'uniformité des caractéristiques du compost dans le temps, principalement en raison de la différence de disponibilité des matières premières et du faible contrôle du processus de compostage.

Il est important que les producteurs de compost comprennent qu'un propriétaire de pépinière a des exigences différentes de celles d'un agriculteur (Pinamonti et Sicher, 2001). La performance d'un compost dépend de la qualité des matières premières utilisées dans la formulation du mélange de départ pour compostage et de la qualité du processus de compostage (Ceglie et al. 2015). Carmona et al. (2012) ont mis en évidence les problèmes les plus fréquemment cités concernant l'utilisation de compost dans les milieux de culture pour la production de plants maraichers. Les résultats concernant l'aptitude des composts testés varient considérablement et ne sont pas toujours satisfaisants. Les défaillances étaient diversement attribuées à :

- La présence de phytotoxines
- La conductivité électrique élevée (CE)
- L'immaturation dans le compost d'écorce de feuillus,
- L'excès de NH_4^+ dans le compost

- La toxicité des métaux lourds dans les déchets solides urbains
- Les propriétés physiques médiocres dues à une faible aération ou à une faible capacité de rétention d'eau

Par conséquent, il s'agit plus d'un problème spécifique de production de compost avec des normes de qualité adéquates pour la formulation des supports de croissance que d'un problème général d'incompatibilité du compost en tant que support de croissance. Les limites de l'utilisation du type de compost peuvent être résolues en identifiant les intrants appropriés, en normalisant le processus de compostage pour obtenir un compost homogène et en le testant pour la croissance de plantes spécifiques (Bernal et al. 2008). À cette fin, il est nécessaire d'établir le nombre minimal de paramètres permettant de déterminer la qualité du compost et de définir des processus de compostage standard pour des matières premières spécifiques afin d'obtenir la qualité de compost attendue. Abdallah et al. (2000) ont souligné que les composts peuvent être utilisés seuls comme support de croissance lorsque les critères suivants sont remplis :

- Porosité comprise entre 50% et 80 % ;
- Capacité de rétention d'eau comprise entre 25 et 60% ;
- Densité apparente de 0,30 à 0,75 g cm⁻³ ;
- pH initial de 5,5 à 6,5 ;
- Concentration initiale en sels solubles de 0,33 à 0,51 ds m⁻¹ ;
- Rapport C / N compris entre 15 et 20.

Les matériaux compostés hautement compactés réduisent la porosité du support de croissance, ce paramètre physique négatif peut être amélioré en ajoutant de la perlite ou de la pierre ponce au mélange de substrat (Fitzpatrick 2001). Les composts couramment ajoutés aux milieux de culture peuvent augmenter les nutriments disponibles pour les plantes ; affecter les propriétés physiques, le pH et les relations entre les nutriments dans le support de culture ; promouvoir ou supprimer les maladies ; ce qui affecte la croissance des plantes (Manas et al. 2009). La combinaison de tourbe et de compost dans un support de culture est synergique. La tourbe améliore souvent l'aération et la rétention d'eau, tandis que le compost améliore la capacité de fertilisation d'un substrat (Jayasinghe, 2012). Certains composts ont généralement des propriétés de porosité et d'aération comparables à celles de la tourbe et, en tant que tels, sont des substituts idéaux aux milieux de propagation (Chong, 2005).

Chapitre II

LA PLANTE FACE AU DÉFICIT HYDRIQUE

1- Introduction

L'eau est l'un des éléments les plus importants pour la croissance d'une culture. Dans le monde végétal, l'eau est l'élément constituant pondéral le plus important, il représente 85 à 90% durant la période active de la végétation (De Raissac, 1992). L'eau est le milieu où se produisent les processus chimiques comme l'absorption des éléments nutritifs et la photosynthèse. Par la transpiration, l'eau agit comme élément refroidissant à la fois pour les végétaux et pour leur environnement.

La sécheresse affecte considérablement la croissance des plantes : le manque d'eau avec les fortes températures, l'un des facteurs majeurs qui limite la production végétale en conditions naturelles (Webber *et al.* 2018). Une bonne nutrition hydrique résulte d'un équilibre entre l'absorption de l'eau du sol (entrée) et la transpiration de la plante (sortie). Le stress est l'altération de la condition physiologique causée par des facteurs qui tendent à modifier son équilibre (Chaves *et al.* 2002). Le déficit hydrique peut être défini comme un déséquilibre entre la quantité d'eau disponible dans le sol et la demande en évaporation due aux conditions environnementales (Tardieu *et al.* 2011). La croissance de la plante est contrôlée directement par le stress hydrique de la plante et indirectement par le stress hydrique du sol.

Le développement harmonieux d'une plante ne peut se réaliser que si la couverture de ses besoins hydriques est assurée durant son cycle végétatif. En d'autre terme, la plante doit se développer dans un sol ou un substrat qui lui assure son confort hydrique (katerji et Itier 1985). Tardieu *et al.* (1985) considèrent que l'activité physiologique d'une plante vasculaire est affectée dès que la teneur en eau de ses organes diminue de 15 à 25 % de valeur maximale, selon les espèces. Des espèces ou même des génotypes différents, soumis aux mêmes conditions de sol et de climat, ne perçoivent pas le stress de la même façon.

2- Effets du déficit hydrique sur la plante

La sécheresse provoque des symptômes sévères et mort possible de la plante. L'effet du déficit hydrique diffère d'une plante à une autre. Levitt *et al.* (1960) considèrent l'adaptation d'une plante à la sécheresse comme une capacité de survie durant des périodes de manque d'eau. Une plante tolérante pour un agriculteur est celle qui permet d'atteindre une production de qualité aussi élevée que possible dans une situation de sécheresse. Un génotype est adapté à un milieu s'il permet une production en supportant les contraintes du milieu sans diminution importante de sa production (Derieux, 1983).

Les végétaux s'adaptent à un milieu fluctuant et contraignant en modifiant leurs caractéristiques morphologiques, phénologiques et physiologiques, tout en préservant l'intégrité de leurs fonctions physiologiques (Robelin, 1983 et De Raissac, 1992). En réponse à des déficits hydriques du sol, selon son intensité et sa durée, la plante met en place des mécanismes pour maintenir un statut hydrique favorable à son développement.

2-1- Effet sur la transpiration

La plante réduit sa transpiration en fermant ses stomates. La réduction de la transpiration améliore l'état hydrique des tissus car les racines continuent à absorber l'eau.

La fermeture des stomates est due à une hormone, l'acide abscissique (ABA). En cas de manque d'eau dans le sol, la racine synthétise l'ABA et l'envoie vers les feuilles *via* le xylème. Selon Berger (1973), Tardieu (1996), la concentration en ABA est corrélée avec le potentiel hydrique et la pression de turgescence de la plante pour les stress relativement longs. L'ABA provoque la sortie d'eau des cellules de garde provoquant ainsi leur plasmolyse et la diminution de la pression de turgescence.

2-2- Effet sur la photosynthèse

Un manque d'eau provoque chez la plante une diminution de la fixation du CO₂ suite à la fermeture des stomates, ce qui réduit la photosynthèse. Par conséquent, il y a une diminution de la synthèse de la matière sèche et de la croissance.

2-3- Effet sur la surface foliaire

Dans des situations de contraintes, qu'elles soient minérales, hydriques ou lumineuses, la surface foliaire de la plante est généralement réduite chez de nombreuses espèces (Tardieu, 1999 ; Granier, 2006) ; le nombre de feuilles est peu ou pas affecté (Granier *et al.*, 2006).

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Dans le cas d'une contrainte hydrique du sol, la réduction de surface foliaire est souvent interprétée comme une stratégie d'économie d'eau par la plante (Tardieu, 2003). Il existe une variabilité génétique importante des degrés de réaction de la croissance des feuilles au déficit hydrique (Reymond *et al.* 2003).

2-4- Effet sur la capacité d'enracinement

La taille et l'architecture du système racinaire déterminent la capacité de la plante à accéder à l'eau et aux éléments minéraux, facteurs limitant de la croissance et, donc, du rendement dans la plupart des écosystèmes agricoles (Price et al. 1997). Pour de nombreuses espèces en cas de déficits hydriques du sol, même si la croissance racinaire n'est pas augmentée en réponse au déficit hydrique du sol, elle reste toutefois moins impactée que la croissance des parties aériennes et il en résulte une diminution du ratio masse aérienne/masse racinaire (Boyer, 1985). Ce maintien de croissance permet de prospecter de nouvelles couches du sol à la recherche de l'eau.

2-5- Ajustement osmotique

L'ajustement est effectué par la synthèse et l'accumulation de solutés compatibles avec la vie de la cellule, ou osmoprotecteurs : éléments minéraux, proline, glycine bêtaïne, polyols (mannitol, sorbitol, D-ononitol), tréhalose, glucose, fructose, saccharose... (Abebe et al. 2003).

L'accumulation de la proline est proportionnelle à la durée et à l'intensité du stress. De ce fait, elle est très utilisée pour la sélection des espèces et des variétés résistantes à la sécheresse. Kapuya et al. (1985) ont montré sur haricot l'existence d'une corrélation positive entre le degré de sécheresse d'un cultivar et son aptitude à accumuler des quantités importantes de la proline durant la période de stress.

Chapitre III

TOMATE

1- Introduction

La plante tomate est originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, dans une zone allant du sud de la Colombie au nord du Chili, plus exactement dans la région de la cordillère des Andes. C'est au Mexique que la tomate fut domestiquée puis introduite en Europe au 16^{ème} siècle. En Algérie, elle a été introduite à la fin du 19^{ème} siècle par les espagnols.

Selon Gallais et Bannerot (1992), le genre *Lycopersicom* comprend neuf espèces dont *Lycopersicom esculentum* sous sa forme sauvage « cerasiforme » qui a émigrée du sud vers le nord du continent américain.

2- Classification de la tomate

C'est une plante annuelle de la famille des solanacées, à port buissonnant. La diversité variétale est extrêmement grande (plus de 1 000 variétés). La classification de la tomate se fait sous plusieurs critères.

2-1-Classification botanique : Selon Gaussen et *al.* (1982), la tomate appartient à la classification botanique suivante :

Règne :	végétal
Embranchement :	spermaphytes
Sous Embranchement :	angiospermes
Classe :	dicotylédones
Ordre :	polémoniales
Famille :	solanacées
Genre :	<i>Lycopersicom</i>
Espèce :	<i>Lycopersicomesculentum</i> Mill

2-2- Classification génétique : Selon Gallais (1992), la tomate est une plante autogame, mais on peut avoir une proportion de fécondation croisée ; elle peut se comporter comme une plante allogame. Il existe donc, deux types de variétés :

2-2-1- Variétés fixées dont les caractéristiques des génotypes se transmettent pour les générations descendantes.

2-2-2- Variétés hybrides F1 du fait de l'effet hétérosis présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêt. (Bonne précocité, qualité et résistance).

2-3- Classification selon le mode de croissance

2-3-1- Variétés à croissance indéterminées :

Selon Laumonnier (1979), les variétés de ce groupe, présentent une tige principale poussant avec régularité et forment un bouquet de fleur toute les trois feuilles.

2-3-2- Variétés à croissance déterminées

Ces variétés se caractérisent par l'absence de la dominance apicale. Leurs tige se terminent par un bouquet floral. Elles ne nécessitent pas, contrairement aux précédentes, d'opérations d'ébourgeonnage ou de tuteurage ; leurs fruits se caractérisent par une maturité groupée.

En plus des trois critères de classification cités ci-dessus, l'identification des variétés de tomate d'après Peron (2004), est essentiellement basée sur :

- Le comportement de la plante à l'égard d'un ravageur ou d'une maladie donnée.
- Le fruit pour lequel plusieurs caractéristiques sont prises en compte : la forme, la couleur, le calibre, la capacité à la conservation.

3- Caractéristiques de la plante

3-1- Caractéristiques morphologiques

3-1-1- Système racinaire :

C'est un système racinaire avec une racine principale pivotante. Il est très puissant et ramifié sur les premiers centimètres. Selon Chauv (1994), la tomate peut avoir des racines qui peuvent atteindre 1 m de profondeur.

3-1-2- Tige :

C'est une tige herbacée presque ligneuse. Kolev (1976) a mentionné que la tige de la tomate varie entre 30 cm et 2m selon les variétés et les conditions de culture. Elle contient des poils globuleux qui dégagent des huiles essentielles caractéristiques de la tomate (Anonyme, 2007).

3-1-3- Feuille :

Les feuilles sont composées, alternées avec des bords dentelées et découpées de façon variable. On trouve 5 à 7 folioles principales et intercalaires selon les variétés.

3-1-4- Fleur :

Les inflorescences sont des grappes qui contiennent de 4 à 12 fleurs jaunes (Rey et Costes, 1965). Elles sont de type pentamère

5 SEPALES + 5 PETALES + 5 ETAMINES + 2 CARPELLES

La structure de la fleur favorise une autogamie stricte, le style ne dépasse pas le cône staminal. Néanmoins il ya toujours un pourcentage de fécondation croisée (2 à 5%) due aux insectes. (Terrilly et Bourgeois, 1991).

3-1-5- Fruit :

Le fruit est une baie de forme variable : ronde ou ovoïde, lisse et allongée, parfois aplatie et côtelées ; la grosseur est directement liée aux nombre de loges. Il y a des fruits petits, moyens et gros. La forme des fruits peut déterminer leurs destinations, les fruits cubiques et allongés sont destinés pour la transformation alors que les sphériques sont à double fins (Chaux et Foury, 1994).

3-1-6- Semence :

La semence de la tomate est de petite taille ; Le poids de 1000 graines est entre 2,5 à 3,5g (Shankara, 2005). Les graines de semence ont une longévité de 4 à 5 ans (Raemaeker, 2001).

3-2- Caractéristiques physiologiques : Cycle physiologique

Le cycle physiologique de la tomate est variable selon les variétés. Il varie de 3,5 à 4 mois. Selon Rey et Costes(1965), les phases de développement de la tomate sont les suivantes :

- **Germination**
- **Croissance**
- **Floraison**
- **Nouaison**
- **Fructification et maturation**

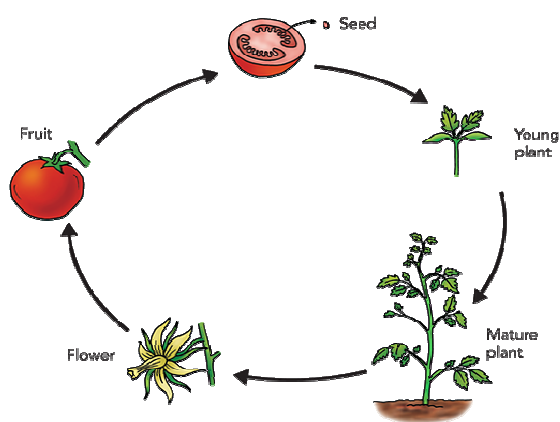


Figure N°1 : Schéma du cycle physiologique de la tomate

4- Exigences pédoclimatiques

4-1-Exigences climatiques

Selon Chauv et Foury (1994), il y a trois facteurs qui interviennent durant les stades de développement de la plante :

4-1-1- Température :

L'optimum de température diurne se situe à 25°C. Un thermopériodisme journalier optimum de 10°C doit être respecté. L'optimum de la température du sol est de 18-20°C (Peron, 2004)

4-1-2- Humidité :

Une humidité de 60 à 65% est la meilleure pour une bonne fécondation : le pollen est difficilement libéré à des humidités supérieures. Une forte humidité favorise le développement de maladies cryptogamiques (Laumonier, 1979).

Le tableau suivant illustre les exigences de la tomate en température et en humidité :

Tableau N°3 : Exigences de la tomate en température et en humidité selon les stades de croissance

Stade de croissance	Température du sol (° C)	Température de l'air (° C)	Humidité de l'air (%)
Germination en pépinière	30° à 20°C de croissante	20°C Constante	60 à 65 %
Elevage de plants en pépinière	20 à 25°C	- 26°C jour - 20°C nuit	60 à 65 %
<u>Plant en culture</u> -Développement végétatif - Floraison	15 à 18°C	- 20 à 23°C jour - 15 à 17°C nuit	60 à 65 %
<u>Fructification</u> - Pollinisation - Fécondation - Nouaison	15 à 20°C	- 20 à 25°C jour - 15 à 17°C nuit	60 à 65 %
- développement de fruit	18° à 20°C	20 à 23°C	60 à 65 %

Source (guide pratique ITCMI)

4-1-3- Lumière :

La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité. Une insolation de 1200 heures est nécessaire pendant les 6 mois de végétation. Un éclairage de 14 heures par jour est nécessaire pour une bonne nouaison. Une forte intensité lumineuse combinée avec une température optimum du sol, favorise la pollinisation et régularise la croissance du style (Chaux et Foury, 1994).

4-2- Exigences édaphiques

4-2-1- Sol :

L'espèce est adaptée à de nombreux types de sol. Les sols sablo-argileux drainants semblent les plus conseillés pour une alimentation minérale et hydrique régulière. (Peron 2004)

4-2-2- pH :

La tomate est une culture indifférente au pH. Cependant sur des sols basique certains éléments sont bloqués (Fe, Mn, Zn, Cu). La tomate tolère des pH variant entre 4,5 et 8,2 (Jacob et Janssen, 1977)

4-2-3- Salinité du sol :

La tomate est considérée comme une plante assez tolérante aux sels Lorsque la conductivité électrique (CE) est de l'ordre de 4 mmhos / cm soit 2,5 g / l de sels totaux, le rendement baisse de 10 % (Chaux et Foury, 1994).

5- Exigences nutritionnelles

5-1- Besoins en eau :

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4 000 et 5 000 m³/ha. Cependant, 3 phases physiologiques correspondant à des besoins en eau différents sont à distinguer.

- De la plantation à la 1^{ère} 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.

(Guide pratique ITCMI)

5-2- Besoins en éléments fertilisants :

Les besoins en éléments fertilisants sont importants. Ils sont ajustés en fonction la nature du sol, de la stratégie d'irrigation et du rendement escompté. (Peron 2004). Les exportations d'une tonne de tomate sont représentées :

Tableau N°4 : exportation d'une tonne de tomate en éléments majeurs (Perón 2004)

Eléments	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO
Exportation (kg/t de fruit)	4 à 5	1 à 1,5		3 à 5	0,8 à 1,2

Deuxième partie

Partie expérimentale

MATERIELS ET METHODES

1- Objectifs de l'expérimentation :

L'expérimentation a pour but de trouver une alternative à l'utilisation de la tourbe dans les pépinières de production de plants et réduire le cout de cette opération qui va se répercuter sur le prix de l'unité pour les agriculteurs. Elle s'inscrit aussi dans le souci de la mise en valeur des résidus obtenus dans la taille de vigne (sarments) dans la région de Boumerdès qui est une région à vocation viticole par excellence.

2- Méthodologie

Dans notre essai nous avons utilisé trois types de substrats. Deux organiques, (tourbe et compost) et un autre d'origine minérale (sable). Avec ces derniers nous avons confectionné six substrats en diluant chacun dans l'autre avec des proportions que nous avons choisies. Les différentes combinaisons obtenues nous les avons associées avec trois fréquences d'irrigations dans le but stressé les plants. L'objectif est de trouver la meilleure combinaison dont la structure et la texture répondent le mieux dans la production de plants en termes de besoins physico-chimiques et mettre en évidence celui qui permet à la plante de résister mieux au stress hydrique

3- Lieu de l'expérimentation

Nous avons mené l'essai dans la station expérimentale d'ISSER appartenant à l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) et à l'université MOULOU D MAMMARI de Tizi-Ouzou dans la faculté des sciences biologiques et agronomiques.

La station est située à une altitude de 450m. La température maximale moyenne est de l'ordre de 30° C et la température minimale moyenne est de l'ordre de 12°c avec une pluviométrie moyenne de 650mm/an. La superficie totale de la station est de 26,70 ha dont 24,80 S.A.U.

Une partie de l'expérimentation est faite au laboratoire. Dans ce dernier, nous avons testé le taux de germination pour chaque substrat. L'autre partie est effectuée dans une serre tunnel d'une superficie de 72 m², sur un pallier de bois qu'on a réalisé à cet effet. C'est une serre dont les conditions de culture sont naturelles (serre froide). La période de l'expérimentation a coïncidé avec l'été où les températures sont élevées. Nous avons enlevé une bâche, durant la journée, pour une bonne aération de la serre et éviter des chaleurs extrêmes.

4- Dispositif cultural

4-1- Les substrats

4-1-1- Substrats purs

❖ **La tourbe** : La tourbe utilisée est de type BASISSUBSTRAT importée d'Allemagne dont les caractéristiques ne sont pas mentionnées.

❖ **Le sable** : C'est du sable de l'oued de SIBAOU tamisé à 2 mm de diamètre.

❖ **Le compost** : est d'origine local issu d'un compostage des résidus de la taille de la vigne et des déchets de tonde de gazon. Il nous l'a été fourni par un agriculteur M^r HAIKEM RABAH



Tourbe Compost

Figure 2 : photographie des deux substrats purs utilisés pour confectionner les autres substrats

4-1-2- Substrats de culture en mélange

A partir des trois substrats cités précédemment (tourbe, compost et sable) on a réalisé six substrats différents. Les proportions des différents substrats sont dans le tableau suivant :

Tableau N° 5 : Identification et composition des mélanges confectionnés

Substrat	Proportion en volume			Désignation
	tourbe	compost	sable	
Tourbe	1	/	/	T
Compost	/	1	/	C
Tourbe + compost	1/2	1/2	/	TC
Tourbe + sable	1/2	/	1/2	TS
Compost + sable	/	1/2	1/2	CS
Tourbe + compost + sable	1/3	1/3	1/3	TCS

Les images qui suivent montrent les quatre substrats confectionnés à partir des trois substrats purs sus cités

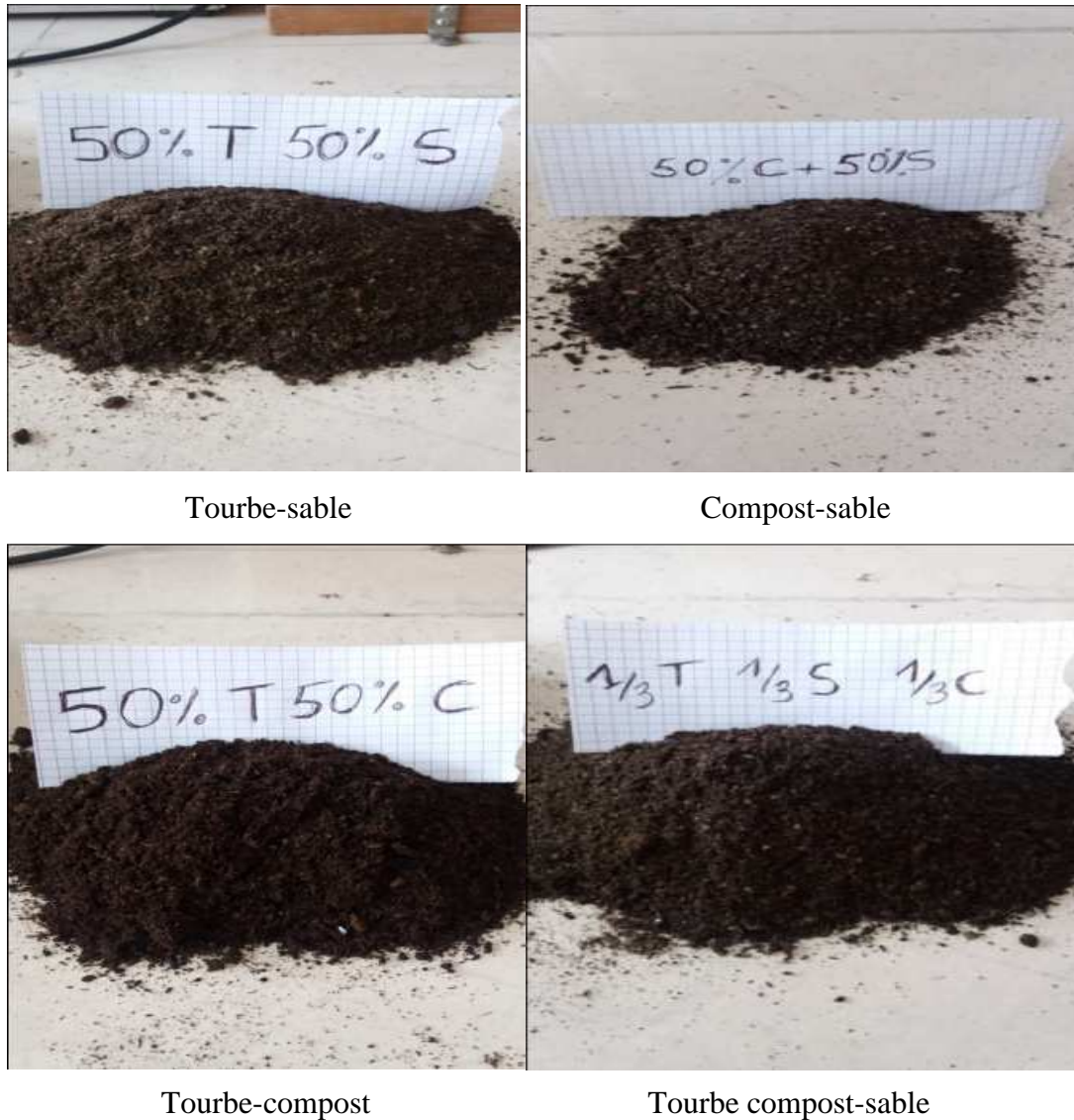


Figure N°3 : photographie montrant les substrats confectionnés

5- Mesure réalisées

5-1- Caractéristiques physico-chimique

5-1-1- Densité apparente

La méthode utilisée pour sa mesure est celle du cylindre. Elle consiste à prélever du substrat un volume connu (volume du cylindre) dont on va déterminer la masse humide et la masse sèche. La densité est calculée selon la formule suivante :

$$D_a = M/V$$

D_a : densité apparente, **M** : masse de l'échantillon (g), **V** : volume du cylindre

5-1-2- Détermination du pH :

Nous avons mesuré le pH selon la norme internationale ISO 10-390 (1994) ; la lecture du pH est faite au moyen d'un pH mètre.

Mode opératoire : 10g du substrat diluée dans 50 ml d'eau distillée. Après agitation pendant 10 mn, la suspension est laissée au repos pendant deux heures, puis mesure du pH.

5-1-3- La conductivité électrique

Pour mesurer la conductivité électrique nous avons mis 20 g du substrat dans une fiole de 100 ml d'eau. Le tout est agité pendant 30 mn. La suspension est filtrée à plusieurs reprises jusqu'à obtention d'un filtrant clair. Puis nous avons mesuré la conductivité électrique avec un conductimètre.

5-2- Caractéristiques biologiques des substrats

5-2-1- Matériel végétal

❖ Espèce et variété

L'espèce utilisée est la tomate *Lycopersicon esculentum*. La tomate est parmi les espèces maraichères les plus cultivée dans le monde. Elle occupe la première place des cultures sous serre. (ITCMI).

Une seule variété a été utilisée : **Mercur**; c'est un hybride F1 dont les caractéristiques sont occultées par le producteur. La photo en dessous montre l'image de la variété utilisée dans notre expérimentation.



Figure 4 : photographie montrant la pochette de la variété utilisée(Mercur)

Les plants transplantés sont issus d'un semis qu'on a effectué dans l'essai de germination dans des plaques dont les alvéoles sont de dimensions très petites. La transplantation est faite dans des pots.



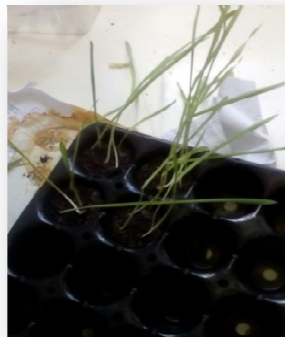
Figure 5 : photographie des plants transplantés

❖ Test préliminaires

Deux essais préliminaires ont été fait :

- Test de phytotoxicité:

Pour s'assurer de la santé du compost, nous avons semé des graines de blé dont la faculté germinative est vérifiée. Vingt graines sont semées dans quatre alvéoles d'une plaque en plastique qu'on a remplis de ce compost. Cinq graines dans chaque alvéole. Le tout est arrosé suffisamment et mis face à la lumière dans le laboratoire. Au bout du quatrième jour les racines commencent à apparaître. Le compost n'est, donc, pas phytotoxique.



- **Figure N°6** : photographie de la levée des graines de blé semées pour tester la phytotoxicité du compost

- Test de germination des graines

Vingt graines de tomate sont mises dans deux boîtes de pétri. Dix dans chacune où il y a du coton imbibé d'eau. Au bout de dix jours d'incubation a une température de 37°C dans une étuve, nous avons compté le nombre de graines germées. Sur les vingt graines, dix neuf ont germées. Ce qui représente un taux de germination de 95%. C'est une excellente capacité germinative qui indique la bonne qualité de la semence.



Figure N°7 : boîtes de Pétriensemencées pour le test de germination

5-2-2- Essais réalisés

Deux dispositifs expérimentaux ont été adoptés pour étudier la qualité biologique des substrats. Randomisation total et split plot.

5-2-2-1- Essai de germination

Pour réaliser cet essai nous avons utilisé un dispositif expérimental complètement aléatoire (Randomisation totale). La figure qui suit illustre ce dispositif :

T3		TS1		CS3		C5		TC5
TSC2		TSC3		C1		T5		TCS5
TC1		T1		CS2		T2		TS4
TC3		TCS1		TC2		TS3		TS2
CS5		CS1		TC4		CS4		T4
C3		TS5		C4		C2		TSC4

T :tourbe, , TC : 1/2 tourbe + 1/2 compost, TS : 1/2 tourbe +1/2 sable
 C : compost CS : 1/2 compost +1/2 sable, TCS : 1/3 tourbe +1/3 compost + 1/3 sable

Figure N°8 : schéma de l'essai germination

Dans ce cas, nous avons seulement un seul facteur : substrat. Il y a 6 substrats et nous avons utilisé 3 plaques alvéolées. Chaque plaque contient 105 alvéoles. La dimension de l'unité expérimentale est de 6 alvéoles avec 5 répétitions/substrat. Ainsi, le nombre d'unités expérimentales est de $6 \times 5 = 30$ unités. Une graine est semée dans chaque alvéole. Le taux de germination dans chaque unité est calculé en fonction du nombre de graine germé.

La date du début de l'essai est le 21 mai 2019 (date du semis). La première observation est faite le 27 mai 2019, une semaine après le semis, suivi par d'autres chaque quatre jours. La dernière observation est effectuée le 12 juin 2019. Les taux de germination enregistrés dans chaque date sont cumulatifs. Nous avons cessé nos observations une fois que les taux de germination se sont stabilisés.

5-2-2-2- Essai fréquences d'arrosage-substrats

Les plants semés au laboratoire âgés d'un mois sont transplantés, individuellement, le 23 juin 2019 dans des pots. Nous avons choisi d'associer dans notre expérience deux facteurs : En plus de celui du substrat, on a rajouté la fréquence d'arrosage. Notre travail est effectué dans une serre afin de mieux homogénéiser le climat. Le dispositif expérimental est celui de split plot. Il consiste, en premier lieu, à faire des blocs pour un seul facteur de façon à pouvoir randomiser les modalités de ce facteur dans chaque bloc. L'unité expérimentale de ce dernier est un sous bloc pour le deuxième facteur dans lequel on randomise toutes les modalités du deuxième facteur. La figure qui suit illustre ce dispositif expérimental :

	BI			BII			BIII			BIV			BV	
F2	T	CS	F1	C	CS	F3	TC	CS	F1	C	T	F3	TCS	T
	TCS	TS		TCS	T		T	TS		TCS	CS		CS	TC
	C	TC		TS	TC		TCS	C		TS	TC		C	TS
F3	TS	TCS	F2	TC	T	F2	TC	T	F2	T	TC	F1	TCS	T
	TC	CS		TS	CS		TS	CS		TCS	C		CS	TC
	C	T		C	TCS		TCS	C		CS	TS		C	TS
F1	CS	C	F3	TCS	TS	F1	TC	T	F3	TCS	TC	F2	C	TC
	TC	TS		CS	T		TS	CS		T	C		CS	TCS
	TCS	T		C	TC		C	TCS		CS	TS		TS	T

T : tourbe, C : compost, TC : 1/2 tourbe + 1/2 compost, TS : 1/2 tourbe +1/2 sable
 CS : 1/2 compost +1/2 sable, TCS : 1/3 tourbe +1/3 compost + 1/3 sable

Figure N°9 : illustration du dispositif expérimental split plot

Dans notre cas, le premier facteur est la fréquence d'arrosage, le deuxième est le facteur substrat. Nous avons constitué cinq blocs, dans chaque bloc on a randomisé les trois fréquences d'arrosage. L'unité expérimentale du deuxième facteur est un pot contenant un plant. Pour chaque fréquence on a mis six pots, chacun est rempli de l'un des substrats suscités. Ainsi nous avons trente pots pour chaque fréquence. Cinq répétitions pour chaque fréquence et chaque substrat. On a quatre-vingt-dix (90) plants au total.

Le suivi du développement des plants est réalisé par des observations à intervalle de cinq jours. Nous avons réalisé la première observation le 05 juillet. A partir de cette date nous avons différencié les fréquences d'arrosage.

F1 : chaque jour

F2 : chaque deux jour

F3 : chaque trois jour



Figure N°10 : photographie correspondant au dispositif expérimental split plot de l'essai fréquence –substrats

5-2-3- Mesures effectuées :

Pour évaluer la croissance et le développement des plants on a mesuré les paramètres suivants :

- La plus longue racine
- Poids sec racinaire
- Hauteurs des plants
- Nombre de feuilles
- Longueurs des limbes des feuilles
- Poids sec foliaire
- Poids sec total
- Rapport du poids sec foliaire et racinaire

6- Le matériel nécessaire pour effectuer ces mesures

- Balance de précision
- Une étuve



Figure N°11 : photographie montrant la balance de précision à gauche et l'étuve à droite

Résultats et discussion

1- Etude physico-chimique des substrats

1-1- Densité apparente

Elle correspond à la masse de l'unité de volume à l'état sec. Elle varie habituellement entre 0.008 et 0.4 kg/L. Plus la densité apparente sèche est faible, plus la porosité est forte et inversement.

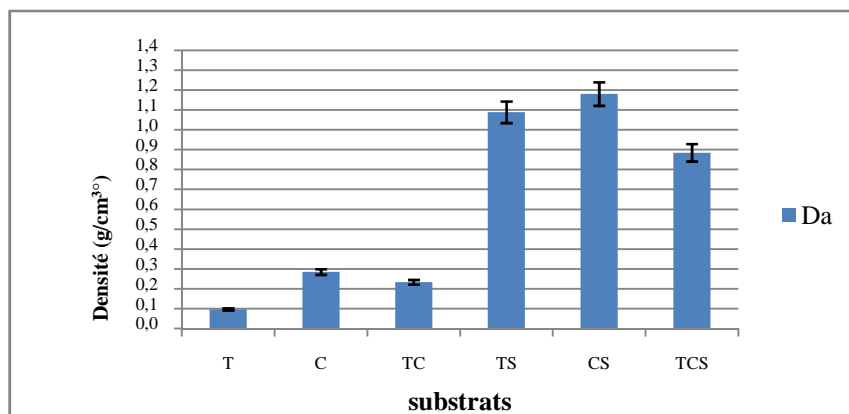


Figure N°12 : densités apparentes des substrats

D'après la figure N° 12 la densité apparente la plus faible est celle de la tourbe T. La plus grande est celle du substrat CS. Les substrats T, C et TC ($0,1$ et $0,3$ g/cm³) ont des densités apparentes adéquates pour la production des plants. Morel et *al.* (2000) considèrent qu'un substrat est bon si sa densité apparente variée entre $0,1$ et $0,3$ g/cm³.

1-2- Le pH

Il est défini comme l'acidité du milieu. Selon Morel et *al.* (2000), un bon substrat est celui qui a un pH variant entre (5,5 et 6,5). Le pH du substrat affecte la mobilité et la disponibilité des nutriments (Jaenicke, 1999). La figure N°13 illustre les différents pH des substrats :

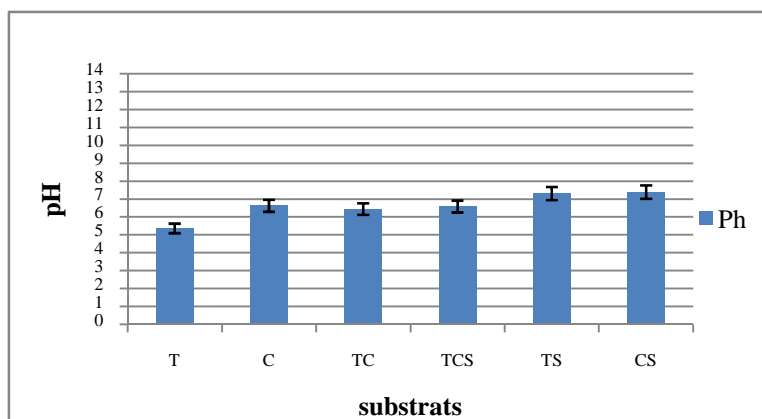


Figure N°13 : pH des différents substrats

D'après cette figure, les substrats qui ont les meilleurs pH pour la production de plants sont T, C, TC et TCS (entre 5,38 et 6,61). Le pH le plus élevé est celui du substrat CS. On constate aussi que l'ajout du sable diminue l'acidité et la tourbe l'augmente.

1-3- La conductivité électrique (CE)

La CE est directement liée à la salinité, donc à une phytotoxicité. La valeur moyenne pour un substrat idéal est de $4,2 \mu\text{S} / \text{cm}^2$ dans une plage de $3,3$ à $5,1 \mu\text{S} / \text{cm}^2$ (Abad et *al.* 2001). La figure qui suit illustre les différentes salinités des substrats :

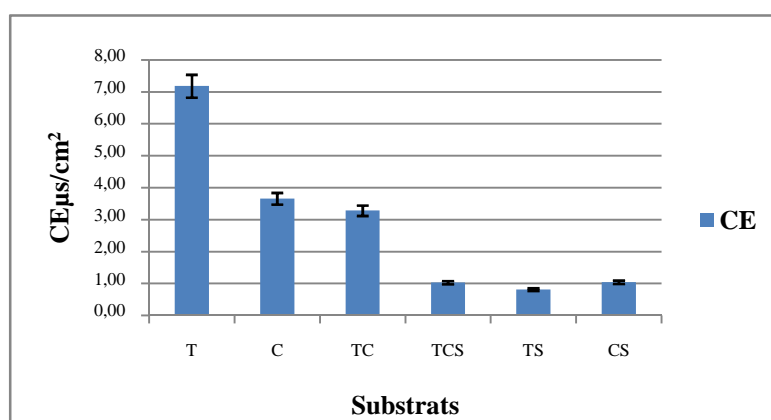


Figure N°14 : les conductivités électriques des différents substrats

D'après le graphe ci-dessus les substrats C et TC ont les CE adéquates pour la production de plants avec respectivement $(3,66 \pm 0,07) \mu\text{S}/\text{cm}^2$ et $(3,29 \pm 0,12) \mu\text{S}/\text{cm}^2$. La tourbe (T) comporte la CE la plus élevée $(7,18 \pm 0,16) \mu\text{S}/\text{cm}^2$ et le substrat TS à la plus faible $(0,82 \pm 0,38) \mu\text{S}/\text{cm}^2$. Le sable a diminué fortement la salinité de la tourbe et le compost l'a équilibrée.

2- Essai de germination

2-1- Evolution du taux de germination

Ce paramètre est étudié dans le laboratoire de physiologie végétale au département d'agronomie à l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou. La figure N° 15 montre l'évolution du nombre des graines germées dans chaque substrat.

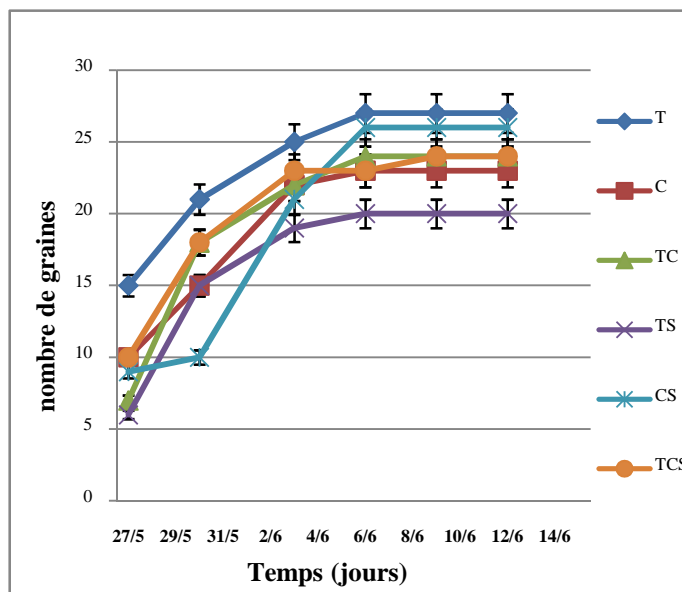


Figure N°15 : Evolution du nombre de graines germées par substrats

D'après le graphe ci-dessus on constate que la stabilisation du taux des graines germées est atteinte à partir de la 4^{ème} date d'observation, environs deux semaines après le semis. On remarque que le taux de germination dans le substrat tourbe est le plus élevé depuis le début. Ce qui nous renseigne sur ses bonnes qualités physiques. En revanche, le plus bas taux est enregistré dans le substrat tourbe-sable. On peut conclure, de là, que le sable a détérioré les qualités de la tourbe.

Les graines semées dans le substrat compost-sable ont mis du temps pour commencer à germer par rapport aux autres graines. Cependant, après un certain temps leur vitesse de germination élevée a permis d'atteindre un taux comparable à celui des substrats (C, TC, TCS), pour se classer, à la fin, 2^{ème} après celle de la tourbe. Ainsi, le sable a augmenté le taux de germination du compost et il l'a diminué au niveau de la tourbe.

Dans les autres substrats (C + TC + TCS), l'évolution du taux de germination est presque la même. Ce qui nous indique l'influence réciproque entre le compost et la tourbe.

2-2- Taux de germination

La figure N°16 montre les différents taux finaux de germination des graines de tomate dans les différents substrats

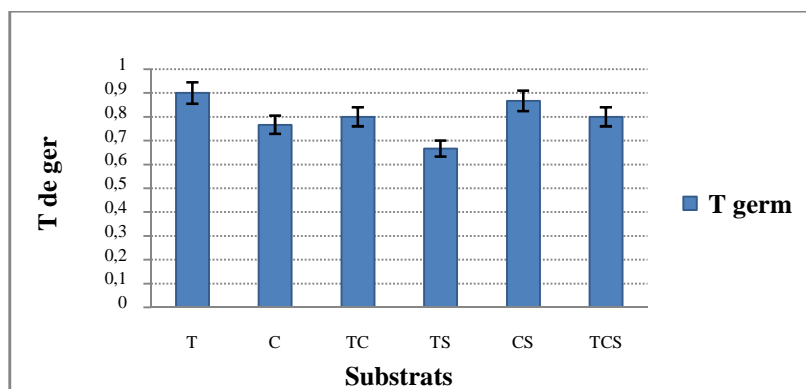


Figure N°16 : Taux de germination dans les différents substrats.

D'après cette figure, les résultats du taux de germination, à la fin de l'essai, pour chaque substrat, montre qu'ils ont tous dépassés la barre de 60% ; avec un maximum au niveau du substrat tourbe (90% ± 9%) et un minimum au niveau de celui du tourbe-sable (66% ± 21%).

3- Essai substrat- fréquence d'arrosage

3-1- Longueur de la plus grande racine dans les différents substrats avec les trois fréquences d'arrosage

La longueur des racines dans un substrat révèle ses qualités physico-chimiques. Un bon substrat doit permettre aux racines des plants de s'enfouir davantage en fonction de ses besoins à la recherche de l'eau et des sels minéraux. D'après la figure N° 17, les plus longues racines sont celles des plants cultivés dans le substrat tourbe (T), avec en F1 (18±5,05 cm), F2 (16,2±3,82cm) et F3 (12,9±5,13cm). Les petites longueurs sont dans le substrat TS avec F1 (9,4±3,15cm) et dans le substrat CS avec F2 (3,1±3,3cm) et F3 (1,3±2,91cm).

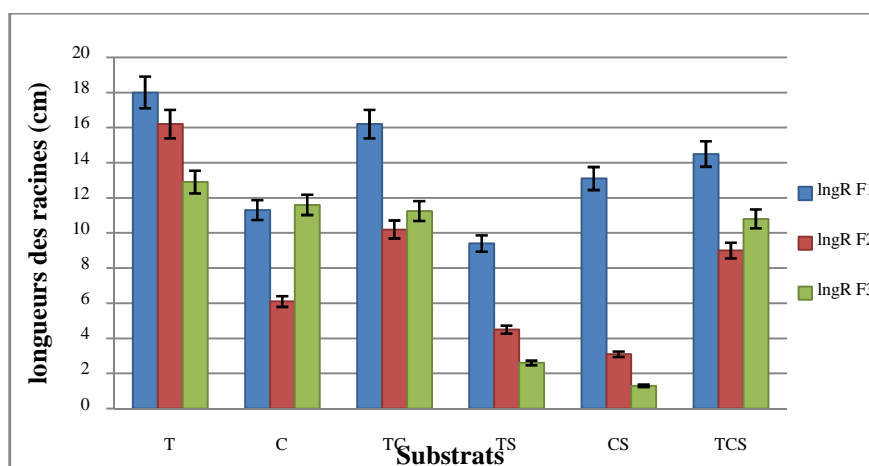


Figure N°17 : la longueur de la plus grande racine (cm) des plants dans les différents substrats en fonction de la fréquence d'arrosage

On constate que la longueur des racines n'est pas proportionnelle avec l'intensité du stress hydrique appliqué. On retient trois substrats où les racines des plants sont plus longues avec la fréquence F3 qu'avec la fréquence F2 (C, TC, TCS). On retient, également, que les plants cultivés dans les substrats T, TS et CS, la longueur de leurs racines diminue en fonction de la durée des fréquences.

Via ce graphe, l'impact de l'intensité et de la durée du stress hydrique, dans le temps, ont influencés différemment sur la longueur des racines dans chaque substrat. Le stress hydrique est ressenti différemment dans chaque substrat durant la croissance des plants. Dans les premiers substrats (C, TC, TCS), les plants de tomate ont ressenti, dès le début, le manque d'eau au niveau de leurs racines avec la fréquence F3. Les plants ont réagi à cela en favorisant le développement de leurs racines.

Dans les deux autres substrats (TS et CS), on suppose que la proportion du sable dans le substrat (densité élevée) a joué un rôle négatif en empêchant les racines de se développés en longueur.

Avec la tourbe (T), les plants ont pu développer leurs racines, dès le début, avec toutes les fréquences grâce aux bonnes qualités physique du substrat ; les plants avec la fréquence F3 n'ont pas ressenti, précocement, le danger du stress comparé avec les autres substrats suscités.

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significative pour les facteurs substrat ($p = 1,53 \times 10^{-6}$) et la fréquence ($p = 1,58 \times 10^{-8}$). Cependant, elle ne montre pas de différences significatives pour l'interaction des deux facteurs ($p = 0,21$).

3-2- Poids sec des racines

La figure N° 18 illustre les valeurs du poids sec racinaire des plants dans chaque substrat avec les trois fréquences. Le plus grand poids est ($0,61 \pm 0,33$) g enregistré dans le substrat tourbe (T) avec la fréquence F1, et le plus petit est dans le substrat CS avec la fréquence F3 ($0,01 \pm 0,02$ g).

Les plants non stressés présentent un poids sec racinaire significativement plus important que celui des plants stressés. La densité racinaire est encore plus importante. On constate, aussi, que les poids racinaires dans les substrats (T, TC, TCS) sont les plus élevés et non

significativement différents. Les plants non stressés cultivés dans le substrat (TS), leurs poids racinaires est très faible ($0,1 \pm 0,05g$).

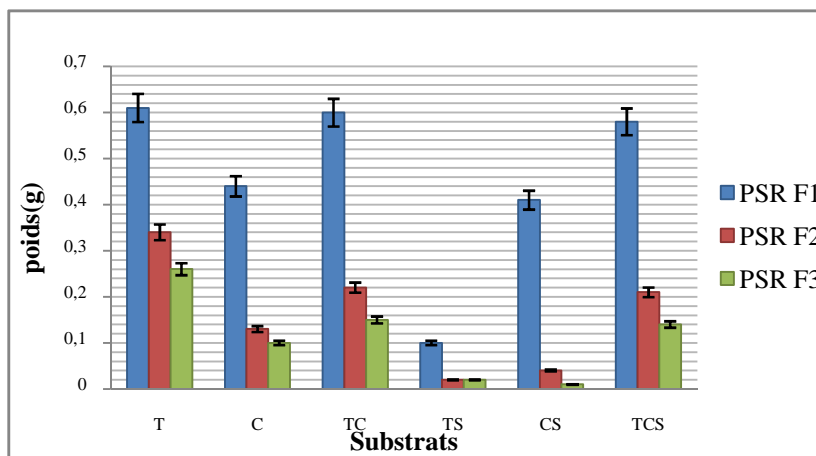


Figure N°18 : poids sec des racines (g) selon le type de substrat et la fréquence d’arrosage.

Contrairement à la longueur des racines, le poids sec racinaire diminue avec la durée de la fréquence. L’eau, donc, est un élément essentiel dans la synthèse de la matière sèche car elle intervient dans les réactions photochimiques de la photosynthèse. Avec les deux fréquences F2 et F3, les quantités de matière sèches synthétisées indiquent les différentes capacités de rétention dans chaque substrat et par conséquent les qualités physiques de ce dernier. On remarque que, dans les substrats TC et TCS, la quantité de la matière sèche synthétisée avec ces deux fréquences (F2 et F3) sont presque les mêmes ; inférieures à celles synthétisée dans la tourbe (T) et supérieures à celles synthétisées au niveau du substrat C.

3-3- Evolution de la croissance des tiges dans les différents substrats avec les différentes fréquences d’irrigations

Les graphes dans la figure N°19 montrent l’évolution des hauteurs des tiges dans les différents substrats en fonction des trois fréquences d’arrosage qui leurs sont appliquées. Les courbes indiquent des évolutions, des plants, différentes en fonction des substrats et des fréquences d’arrosages. Elles diminuent avec l’augmentation de la fréquence d’arrosage.

Pour la fréquence (F1), plants arrosés quotidiennement, la croissance des plants au niveau des substrats (T, C, TC, CS, TCS) est nettement plus grande que celle du substrat TS où les plants ne sont, presque, pas développés. Les plants dans les substrats TC et TCS ont atteint les plus grandes hauteurs suivis de celles CS et C puis vient celle de la tourbe T. On constate que là où il y a du compost il y a une bonne croissance. La prééminence des courbes

relatives aux substrats tourbe-compost (TC) et tourbe-compost-sable (TCS) indique une synergie entre la tourbe et le compost.

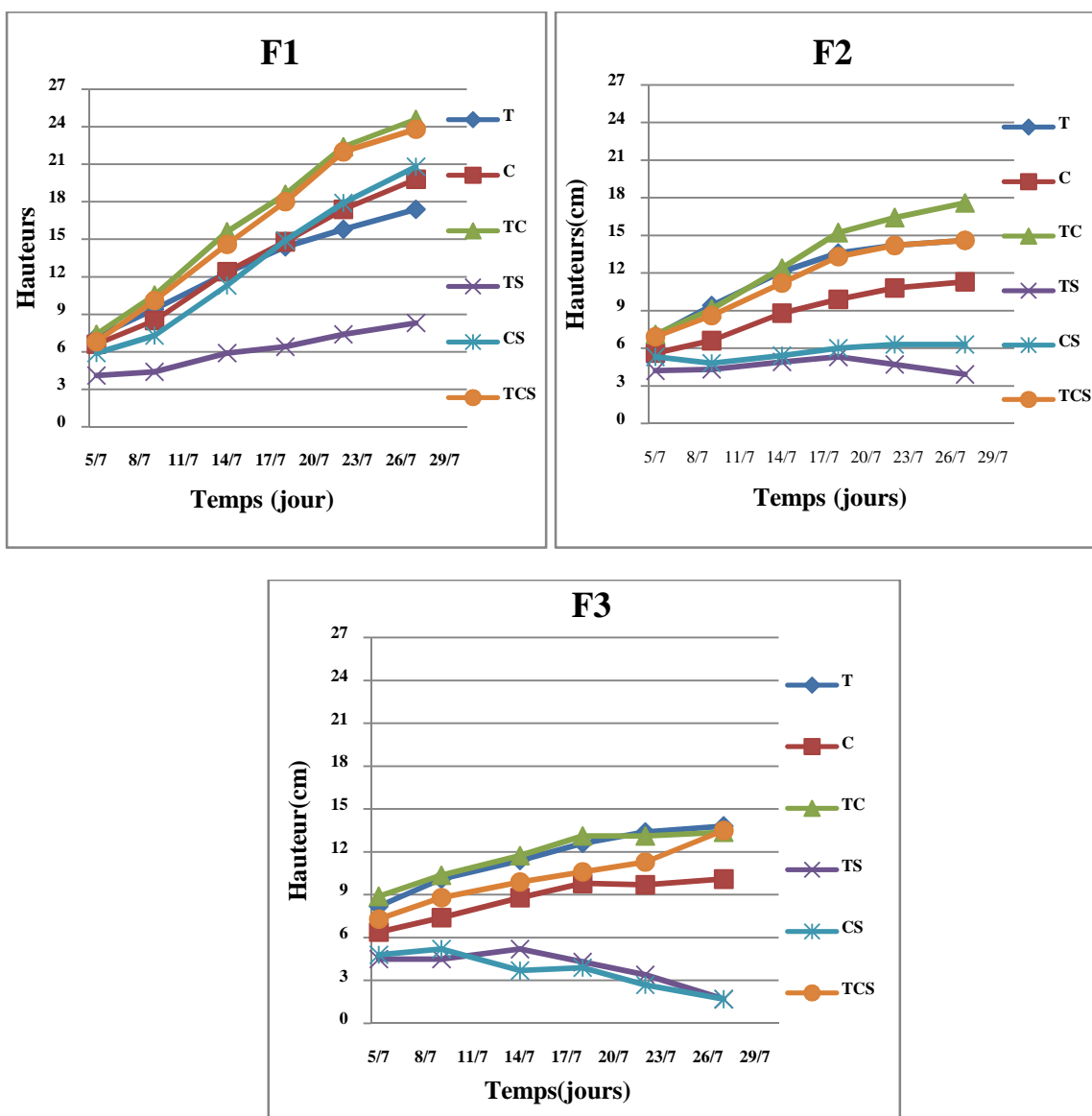


Figure N°19 : Croissance de la hauteur de la tige dans les différents substrats avec les 3 fréquences d'arrosage

Avec les fréquences F2 et F3, l'ordre des évolutions en hauteur des plants est changé par rapport à la fréquence F1. La texture des substrats a joué un rôle en termes de rétention d'eau des substrats. Les plants transplantés dans des substrats qui contiennent du sable ont subi un stress hydrique plus grand que ceux plantés dans les substrats qui n'en contiennent pas avec une intensité plus grande en F3.

La croissance des plants transplantés dans la tourbe est similaire à celles des plants qui sont dans le substrat TCS avec la fréquence F2 et similaire à celle des plants transplantés

dans le substrat TC en F3. La tourbe confirme ses caractéristiques physiques vu que les plants ont résistés mieux en augmentant l'intensité du stress.

3-4- Hauteurs des tiges

Dans notre essai la valeur moyenne maximale de la hauteur des tiges est obtenue dans le substrat TC ($24,6 \pm 1,67$ cm) avec la fréquence F1 et la valeur moyenne minimale est obtenue dans les substrats TS et CS ($1,7 \pm 3,80$ cm) avec la fréquence F3. Les valeurs minimales et maximales obtenues dans les différents substrats changent en fonction des fréquences. Avec F2, la hauteur maximale est obtenue dans le même substrat TC ($17,6 \pm 3,21$ cm). Elle est obtenue dans la tourbe avec F3 ($13,8 \pm 1,48$ cm). Les valeurs minimales sont enregistrées dans les substrats TS avec F1 ($8,3 \pm 2,2$ cm) et F2 ($5,7 \pm 1,20$ cm) et dans les TS, CS avec F3 ($1,7 \pm 3,80$ cm).

D'après le graphe ci-dessous les plants cultivés dans les différents substrats n'ont pas ressenti le même impact sous l'effet des différentes fréquences.

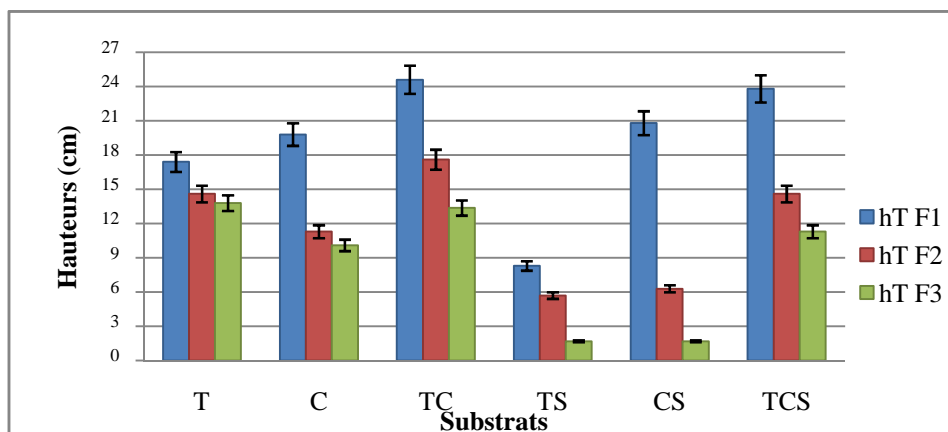


Figure N°20 : Effet du type du substrat et la durée de la fréquence d'arrosage sur la hauteur des plants

L'analyse de la variance pour ce paramètre (hauteur de la tige) montre des différences très hautement significatives pour les deux facteurs étudiés en l'occurrence Fréquence (F) (2.2×10^{16}), substrat (Sub) (1.15×10^{14}) et hautement significatives pour l'interaction fréquence-substrat (F.Sub) (0.003015).

Le test de NEWMAN-KEULS pour la hauteur de la tige a révélé 12 groupes homogènes pour l'interaction des deux facteurs. Le tableau N° 6 montre ces différents groupes

Tableau N° 6 : groupes homogènes du facteur hauteur des plants

Fréquence	substrat	hauteur	1	2	3	4	5	6	7	8
F3	CS	1,70000	****							
F3	TS	1,70000	****							
F2	TS	5,70000	****	****						
F2	CS	8,10000		****	****					
F1	TS	8,30000		****	****					
F3	C	10,10000		****	****					
F3	TCS	11,30000		****	****	****				
F2	C	11,30000		****	****	****				
F3	TC	13,37500			****	****	****			
F3	T	13,80000			****	****	****	****		
F2	TCS	14,60000			****	****	****	****		
F2	T	14,60000			****	****	****	****		
F1	T	17,40000				****	****	****	****	
F2	TC	17,60000				****	****	****		
F1	C	19,80000					****	****	****	****
F1	CS	20,80000						****	****	****
F1	TCS	23,80000							****	****
F1	TC	24,60000								****

Avec la fréquence F1 : les substrats TC, TCS, CS, et C ont constitué les meilleurs groupes (entre 19,80 et 24,60 cm). Ces derniers ne sont pas significativement différents. La tourbe (17,4 cm) a constitué un groupe qui est significativement différent de celui du TC et non significativement différent des autres groupes sus citées. Le substrat TS appartient à un groupe qui est significativement différent de tous les groupes avec toutes les autres combinaisons des substrats avec F1.

Avec F2, les groupes auxquels appartiennent les substrats TC, TCS, et T (entre 17,6 et 14,6 cm) forment des groupes qui sont significativement différents de ceux formés par les deux premiers groupes de F1 (TC, TCS) mais non significativement différents des deux autres groupes formés avec F1 (C, CS). Le groupe auquel appartient le compost C (11,3 cm) est significativement différents des quatre meilleurs groupes mais il est non significativement différent de la tourbe T avec F1. Le CS et TS (entre 8,1 et 5,7 cm) appartiennent à deux groupes qui sont non significativement différents mais ils se classent parmi les derniers groupes et très significativement différents des premiers.

Avec F3, les groupes formés avec les substrats T et TC (entre 13,8 et 13,37cm) sont significativement différents avec les groupes formés avec TC, TCS, et CS en F1 et non significativement différents des groupes formés avec le compost C et la tourbe T. Le groupe auquel appartient le substrat TCS (11,3cm) est significativement différent des meilleurs quatre

groupes formés avec F1, mais non significativement différents de celui formé avec la tourbe. Le compost seul appartient à un groupe qui est significativement différent de tous les groupes à lesquels appartiennent les autres substrats en F1 sauf celui du substrat TS. Ainsi on peut conclure que les substrats qui ont donnés les meilleurs résultats en termes de hauteurs des plants avec les trois fréquences d'arrosage sont : TC, TCS et T.

3-5- Evolution du nombre de feuilles dans chaque substrat avec les trois fréquences d'arrosage

La figure qui suit illustre avec des graphes l'évolution du nombre de feuilles des plants pour chaque fréquence d'arrosage dans les différents substrats.

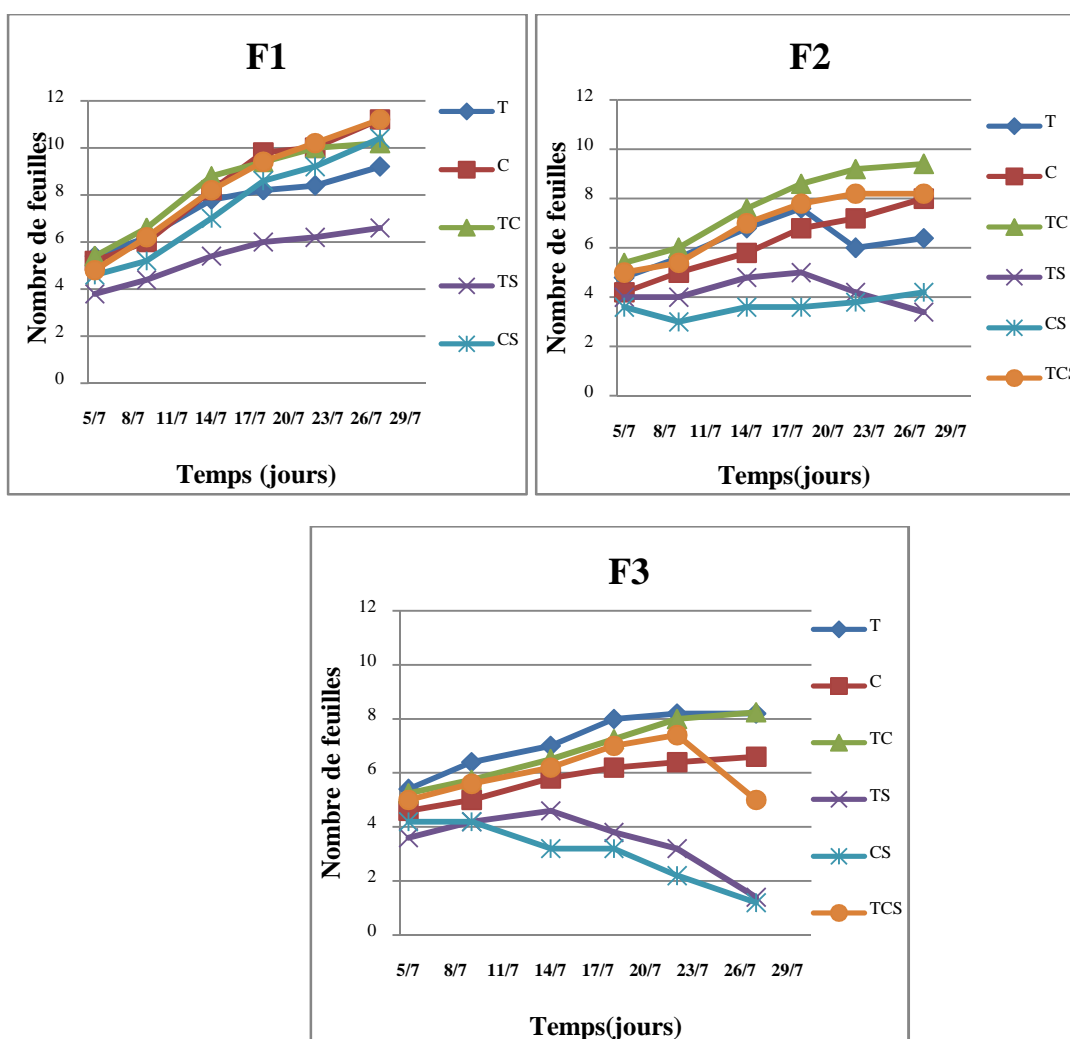


Figure N°21 : Evolution du nombre de feuilles dans les différents substrats avec les fréquences d'arrosage

L'apparition des feuilles suit une évolution régulière dans tous les substrats avec la fréquence F1. D'après le graphe, le type du substrat n'a pas eu d'impact sur le nombre de feuilles sauf pour le substrat TS où le développement des feuilles a été lent.

L'évolution du nombre de feuille avec F2 est perturbée. Au départ, elle est relativement normale pour les substrats (T, C, TC, TCS), avec une vitesse d'apparition plus lente par rapport à F1. Pour le substrat tourbe (T), on remarque une diminution brusque du nombre de feuilles à partir de la quatrième observation, dû à leurs chutes, pour recroître ensuite à partir de la cinquième observation. Cette chute est due aux fortes températures enregistrées durant cette période qu'ont subi les plants. Au départ, les plants n'ont pas subi de stress mais avec l'augmentation de la température, à la quatrième observation, ces derniers ont réagi brusquement en perdant leurs feuilles. La baisse du nombre de feuilles au niveau des substrats CS et TS est dû essentiellement à la mort progressive des plants plutôt qu'à leurs chutes.

Avec la fréquence F3, l'apparition des feuilles est normale pour les substrats T, C, et TC, ce qui dénote une perception précoce de la sécheresse et une adaptation conséquente et progressive par la réduction du nombre de feuilles avec une vitesse de formation, néanmoins, lente. On remarque, cependant, une chute brusque aux niveaux du substrat TCS à la cinquième observation, dû à la mort des plants sous l'effet du stress. Pour les substrats TS et CS les plants n'ont pas pu supporter, dès le départ, le manque d'eau et les températures élevées durant cette période.

3-6- Nombre de feuilles

D'après la figure N°22, le plus grand nombre de feuilles est obtenu au niveau des substrats C($11,2 \pm 0,45$ feuilles) et TCS et ($11,2 \pm 0,84$ feuilles) avec la fréquence F1. Les valeurs maximales obtenues avec les deux autres fréquences F2 et F3 sont respectivement ($9,4 \pm 0,89$ feuilles) et ($8,25 \pm 0,96$ feuilles); elles sont enregistrées dans le substrat TC. Parallèlement, les minimums des nombres de feuilles sont enregistrés avec les interactions F1-TS ($6,6 \pm 1,52$ feuilles), F2-TS ($3,4 \pm 3,13$ feuilles) et F3-CS ($1,2 \pm 2,68$ feuilles).

D'après le graphe ci-dessous, on constate que l'effet de la fréquence d'arrosage sur le nombre de feuilles au niveau du substrat TC, est le plus faible; le nombre de feuille a légèrement diminué dans ce substrat. Dans le substrat CS, l'impact de la fréquence est le plus élevé. Il y a un grand écart entre les nombres enregistrés avec les trois fréquences dû à la mort des plants sous l'effet du stress hydrique.

Dans le substrat tourbe, on remarque que le nombre de feuilles ne diminue pas en fonction de la durée d'arrosage. Contrairement aux autres substrats, le nombre de feuilles des

plants avec la fréquence F3 est plus élevé que celui enregistré avec F2. La durée de la fréquence n'influe, donc, pas, à elle seule, sur le nombre de feuilles.

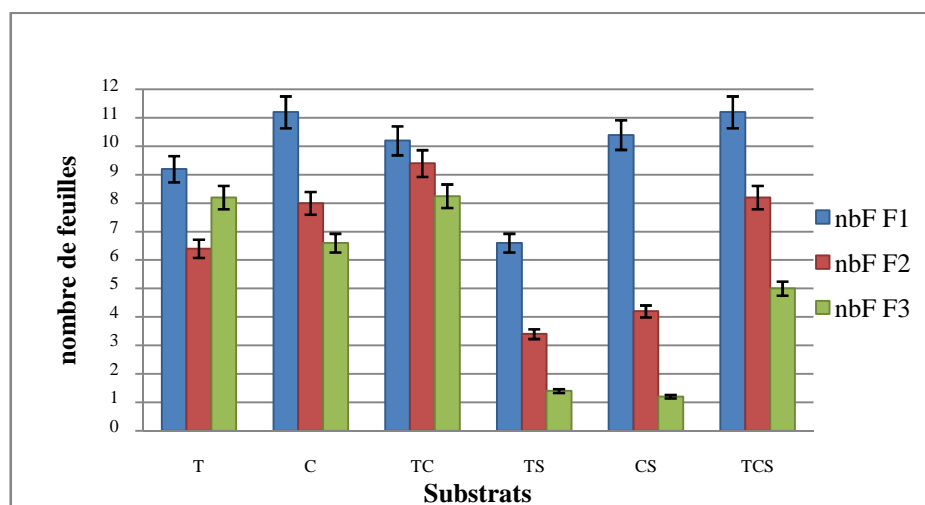


Figure N°22 : Effet du type du substrat et la fréquence d'arrosage sur le nombre de feuilles par plants

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives pour les facteurs substrat ($p = 1.42 \times 10^{-8}$) et fréquence d'arrosage ($p = 1.091 \times 10^{-10}$) et significatives pour l'interaction entre les deux facteurs ($p = 0.02286$).

Le test de NEWMAN-KEULS a mis en évidence huit groupes homogènes pour l'interaction entre les deux facteurs. Le tableau N°07 illustre ces groupes :

Tableau N° 7 : groupes homogènes pour le paramètre nombre de feuilles

Fréquence	substrat	Nombre de Feuilles	1	2	3	4	5
F3	CS	1,20000	****				
F3	TS	1,40000	****				
F2	TS	3,40000	****	****			
F2	CS	4,20000	****	****	****		
F3	TCS	5,00000	****	****	****	****	
F2	T	6,40000		****	****	****	****
F3	C	6,60000		****	****	****	****
F1	TS	6,60000		****	****	****	****
F2	C	8,00000			****	****	****
F3	T	8,20000			****	****	****
F2	TCS	8,20000			****	****	****
F3	TC	8,25000		****	****	****	****
F1	T	9,20000				****	****
F2	TC	9,40000				****	****
F1	TC	10,20000					****
F1	CS	10,40000					****
F1	TCS	11,20000					****
F1	C	11,20000					****

D'après ce tableau le groupe formé par les substrats C, TCS, CS et TC combinés avec la fréquence F1 a donné les meilleurs résultats en nombre de feuilles formés entre (11,2 et 10,2 feuilles).

Ce groupe n'est significativement différent que des groupes formés par les substrats CS, TS, TCS combinés soit avec F2 ou F3 (entre 5 et 1,2 feuilles). Dans ces dernières combinaisons, la moyenne (faible) des nombres de feuilles enregistrée est due à la mort des plants sous l'effet du stress hydrique plutôt qu'à la chute des feuilles).

3-7- Evolution de la longueur des feuilles dans les différents substrats avec les trois fréquences d'arrosage

La figure N°23 montre l'évolution de la croissance des feuilles en longueurs avec les trois fréquences d'irrigation dans les différents substrats :

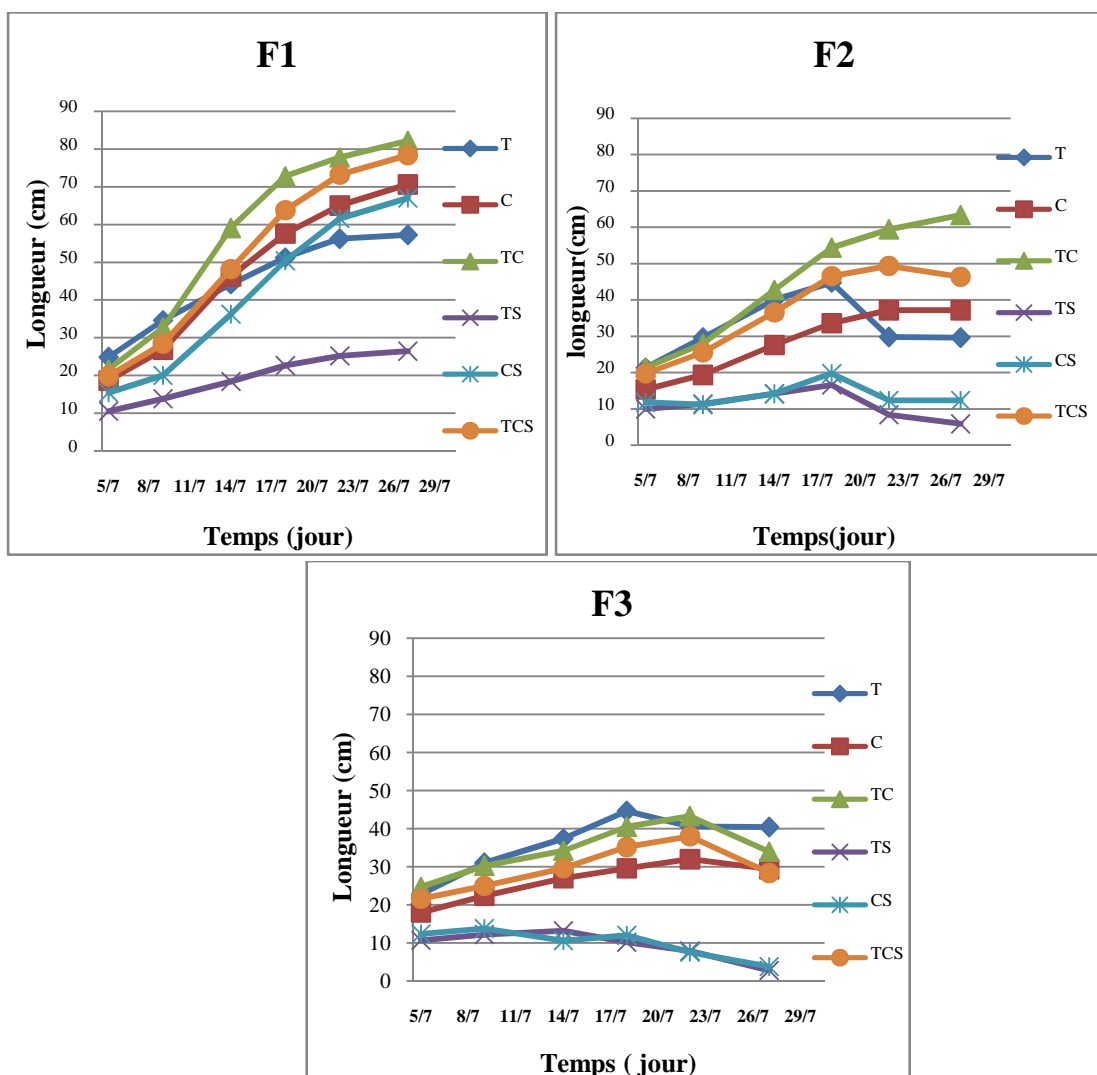


Figure N°23 : Evolution de la longueur des feuilles dans les différents substrats en fonction des fréquences d'arrosage

D'après les trois graphes, l'évolution de la longueur des feuilles décroît avec la fréquence appliquée aux plants dans les différents substrats.

La croissance est régulière avec F1, elle est plus rapide dans le substrat TC et plus lente dans le substrat TS. Dans ces deux cas, le compost et le sable ont joués des rôles contraires, respectivement, l'un a amélioré les qualités de la tourbe, l'autre les a détériorés. L'évolution de la longueur moyenne des feuilles au niveau du substrat tourbe (T) est la plus rapide au début pour décroître ensuite et se stabiliser. Ce qui dénote l'épuisement de ses qualités avec le temps. Elle est conçue pour répondre aux besoins des plants jusqu'à un certain stade.

Avec la fréquence F2, l'ordre des évolutions est le même dans les différents substrats exceptés celle enregistrée dans le substrat CS. L'évolution de la croissance enregistrée dans ce dernier a rejoint celle du TS. A partir de la quatrième observation, il y a un ralentissement de la croissance pour les substrats TC, TCS, et C. La longueur des feuilles a continué son augmentation, à partir de la cinquième observation, dans le substrat TC, elle se stabilise au niveau du compost (C) et décroît dans le substrat TCS. Le degré du stress ressenti par les plants est différent. Il reflète le taux d'humidité existant dans les substrats où ils sont. Au niveau du substrat tourbe T, la longueur des feuilles a décliné d'une façon brusque entre la quatrième et la cinquième observation due à leurs chutes causées par les hautes températures enregistrées durant cette période.

Avec la fréquence F3, l'effet du stress hydrique sur les plants est apparent, la croissance de la longueur des feuilles est nettement inférieure par rapport à celle enregistrée avec la fréquence F1. Par ailleurs, l'ordre des évolutions est différent. Les plants qui sont dans le substrat tourbe (T) ont pu résister mieux, suivis de ceux qui sont dans le substrat TC. La longueur des feuilles croît régulièrement pour les substrats TC, TCS et C jusqu'à la cinquième observation. La décroissance de la longueur enregistrée dans ces substrats, après la cinquième observation, est due à l'accumulation du stress avec le temps. Quant aux plants dans le substrat tourbe (T), la longueur de leurs feuilles a décliné à partir de la quatrième observation. Il confirme ses caractéristiques, observées avec la fréquence F2. Dans les deux autres substrats TS et CS, la longueur des feuilles décroît depuis le début. La mort des plants est progressive dans ces substrats. Ils n'ont pas pu résister au stress hydrique généré par la durée de cette fréquence. Cela est dû à la mauvaise rétention d'eau de ces substrats.

3-8- Longueurs des feuilles

La figure N°24 montre les moyennes des différentes longueurs des feuilles enregistrées dans chaque substrat, à la fin de l'essai, en fonction de la fréquence qui leur sont appliquée. D'après ce graphe, la moyenne de la longueur des feuilles dans le substrat TC est la plus grande avec F1 ($82,2 \pm 10,96\text{cm}$) et F2 ($63,4 \pm 10,97\text{cm}$). Avec la fréquence F3, elle est enregistrée dans le substrat tourbe T ($40,4 \pm 3,21\text{cm}$).

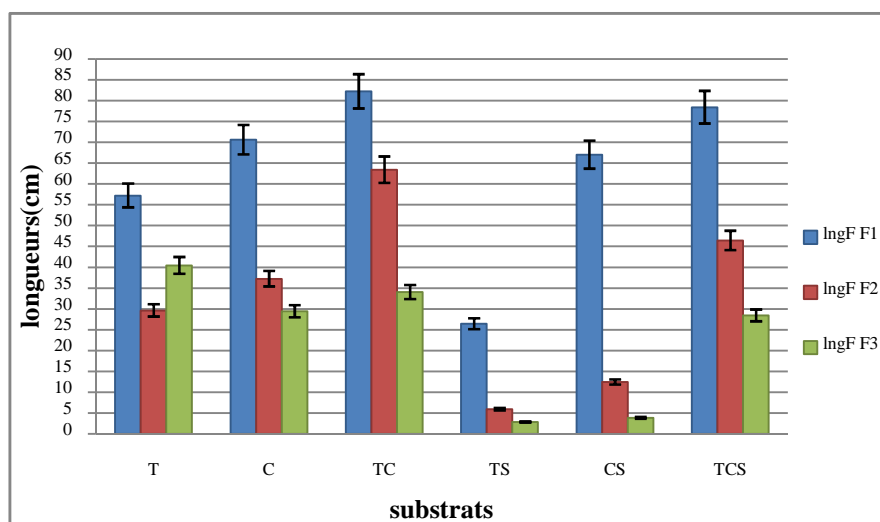


Figure N°24 : effet de la fréquence d'arrosage sur la longueur des feuilles (cm) dans les différents substrats

L'écart de la longueur des feuilles dans chaque substrat, avec les trois fréquences d'arrosages, nous renseigne sur la capacité des substrats à retenir l'eau. Le plus grand écart est enregistré au niveau du substrat (CS) et le plus petit est dans le substrat tourbe (T). L'écart moyen est celui enregistré dans le substrat TC. On remarque que l'impact causé par la fréquence F2 est le plus grand dans le substrat compost. Il est dû, beaucoup plus, à la percolation de l'eau qu'à l'évapotranspiration de celle-ci. C'est le même cas au niveau du substrat CS. La présence de la tourbe améliore les qualités du compost en augmentant sa capacité de rétention.

L'analyse de la variance pour ce paramètre montre des différences très hautement significative pour les facteurs substrat (1.16×10^{-11}) et fréquence d'arrosage (3.618×10^{-15}) et des différences significatives pour l'interaction entre les deux facteurs (0.02877).

Le test de NEWMAN-KEULS a mis en évidence onze groupes homogènes pour l'interaction entre les deux facteurs. Le tableau N°08 illustre ces groupes :

Tableau N°8 : Groupes homogènes pour le paramètre longueur des feuilles

Fréquence	substrat	Longueur des Feuilles	1	2	3	4	5	6	7
F3	TS	2,80000	****						
F3	CS	3,80000	****						
F2	TS	5,90000	****						
F2	CS	12,40000	****	****					
F1	TS	26,40000	****	****	****				
F3	TCS	28,40000	****	****	****				
F3	C	29,40000	****	****	****				
F2	T	29,60000	****	****	****				
F3	TC	34,00000	****	****	****				
F2	C	37,20000		****	****	****			
F3	T	40,40000		****	****	****	****		
F2	TCS	46,40000			****	****	****	****	
F1	T	57,20000			****	****	****	****	****
F2	TC	63,40000				****	****	****	****
F1	CS	67,00000					****	****	****
F1	C	70,60000						****	****
F1	TCS	78,40000							****
F1	TC	82,20000							****

Les substrats contenant du sable TS, CS pour les fréquences F2 et F3 constituent deux groupes homogènes non significativement différents. Ils forment les groupes dont les longueurs de feuilles sont les plus petites (entre 2,80 et 12,4 cm). Les substrats TCS, TC et C, avec F3, appartiennent à un groupe qui est non significativement différent des précédents (entre 26,40 et 34 cm). Ceci nous indique que les plantes cultivées dans les substrats contenant du sable ont ressenti rapidement le manque d'eau alors que celles cultivées dans les substrats contenant du compost ne l'ont ressenti qu'avec une intensité de stress plus importante.

La tourbe seule et le compost seul pour F2 et F3 appartiennent à des groupes non significativement différents dont les longueurs de feuilles sont moyennes. Leur combinaison a donné les longueurs de feuilles les plus importantes pour les fréquences F2 (63,4 cm) et F1 (82,2cm).

3-9- Poids sec de la partie aérienne

D'après la figure N° 25, la moyenne du plus grand poids sec de la partie aérienne est enregistrée dans le substrat TC ($2,69 \pm 0,59$ g) avec la fréquence F1 et la plus petite est enregistrée avec F3 dans le substrat TS ($0,07 \pm 0,13$ g).

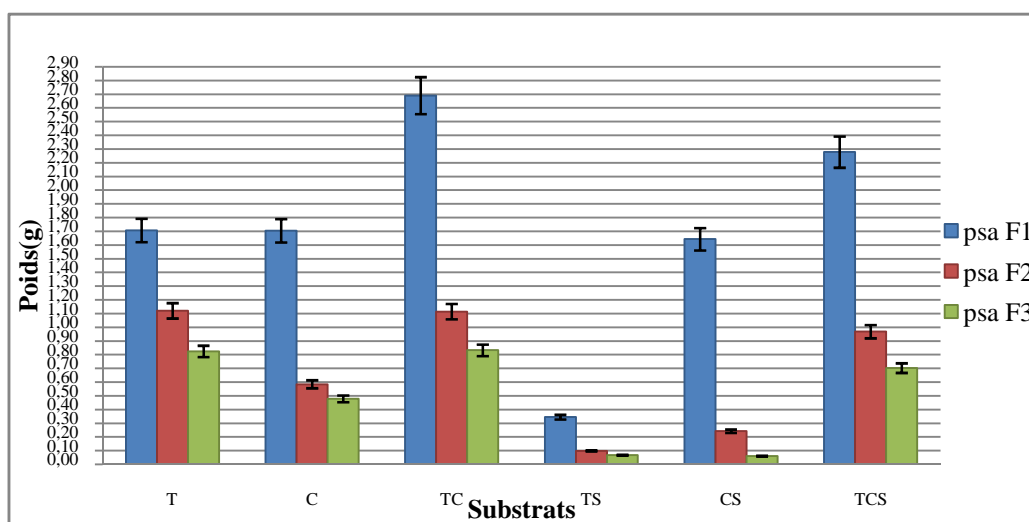


Figure N°25 : Poids sec de la partie aérienne des plants dans chaque substrat avec les différentes fréquences d'arrosage

On remarque que les poids de la matière sèche avec la fréquence F1 sont les plus élevés pour tous les substrats. Les poids dans les substrats T et C sont, presque, égaux ($1,71 \pm 0,70$ g et $1,70 \pm 0,56$ g respectivement) avec la fréquence F1. Les plants cultivés dans les mélanges TC et TCS ont synthétisés plus de matière sèche que ceux cultivés dans le substrat tourbe T avec la fréquence F1. Le substrat TS a donné les poids secs les plus faibles avec toutes les fréquences confondues.

Avec les fréquences F2 et F3, les poids enregistrés dans le substrat TC sont les mêmes que celui enregistré dans le substrat T. Cependant, ils sont inférieurs, à celui de la tourbe, au niveau du substrat TCS. Ils sont plus élevés que celui du compost C. les substrats TS et CS ont donnés les plus faibles poids.

Donc, le substrat TC, est le meilleur dans de bonnes conditions hydriques et comparable avec la tourbe en cas d'un stress hydrique puis vient le substrat TCS.

3-10- Matière sèche totale

La figure N°26 résume les différentes moyennes des poids secs enregistrés par les plants dans chaque substrat avec les trois fréquences d'arrosage. Le plus grand poids est enregistré avec la fréquence F1 dans le substrat TC. Avec les deux autres fréquences, les plus grands poids sont dans le substrat tourbe T. Les poids les plus petits sont dans les substrats TS et CS avec la fréquence F3.

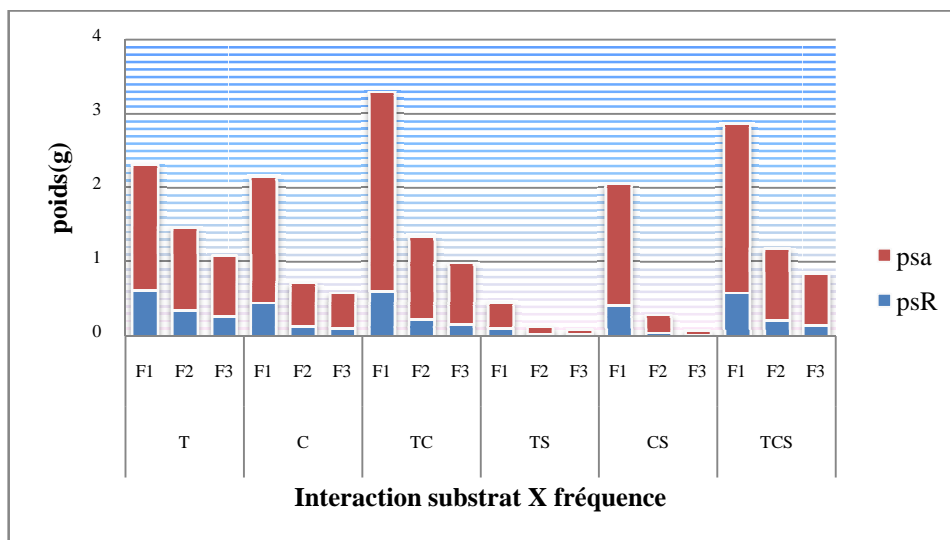


Figure N°26 : matière sèches totale produite par les plants dans les différents substrats avec les trois fréquences d'arrosage

On constate que la diminution de la matière sèche racinaire est suivie par la diminution de celle de la partie aérienne, mais d'une façon non proportionnelle. L'exemple le plus illustrant est celui de la tourbe T comparé au substrat TC. Les poids secs des racines dans ces substrats sont les mêmes alors que leurs parties aériennes présentent des poids très différents avec F1 et, dans ces mêmes substrats, les parties sèches aériennes synthétisées avec les fréquences F2 et F3 sont égales alors que celles de leurs racines sont différentes, elles sont plus grandes dans le substrat T.

Les caractéristiques physico- chimiques des substrats ont un rôle déterminant dans l'évolution des deux parties de la plante. Dans le cas du substrat TC, la perte de ses qualités physiques dues à la présence du compost est compensée par la richesse de celui-ci sur le plan chimique. Le poids des racines dans ce substrat est dû à la synergie entre ces deux substrats alors qu'au niveau de la tourbe T, ses bonnes qualités physiques ont suffi pour favoriser le développement des racines. C'est le même cas pour le substrat TCS où la matière sèche de la

partie aérienne est plus grande que celle enregistrée au niveau de la tourbe alors que le poids de la partie racinaire est plus faible.

3-11- Rapport entre la matière sèche foliaire et racinaire

L'étude de ce paramètre a pour but de comparer les rapports entre les deux parties responsables des deux fonctions relatives à l'absorption de l'eau par les racines et la transpiration par les feuilles. Deux fonctions qui déterminent la quantité de l'eau dans la plante. La figure N°27 illustre ces différents rapports :

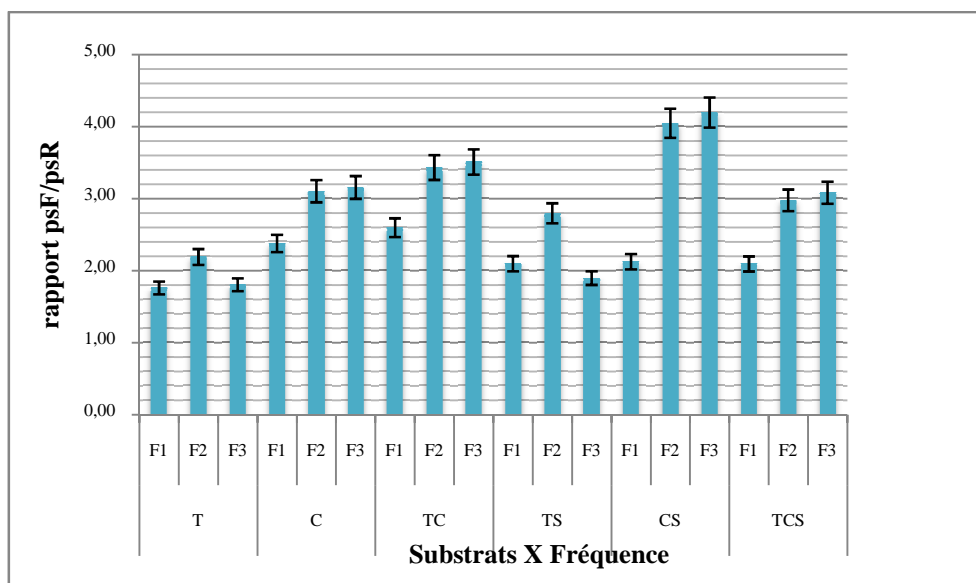


Figure N°27 : rapport entre la matière sèche foliaire et racinaire des plants dans les différents substrats avec les différentes fréquences d'arrosage

D'après cette figure, les rapports entre les deux parties tendent à se stabiliser avec les deux fréquences F2 et F3 dans les substrats C, TC, CS et TCS. Ces deux rapports sont nettement plus élevés que ceux enregistrés avec la fréquence F1. Cela indique que le taux de diminution des deux parties est différent avec le stress hydrique : c'est la partie racinaire qui a diminuée le plus mais qui tendent à se stabiliser avec l'intensité du stress hydrique.

Dans les deux autres substrats T et TS, les deux parties sèches racinaire et foliaire formées avec les fréquences F1 et F3 présentent des rapports qui se rapprochent. Les taux de diminution des deux parties avec la fréquence F3 sont les mêmes, contrairement à ceux obtenus avec la fréquence F2

4- Discussion

L'objectif de notre essai est de classer des substrats confectionnés en substituant la tourbe importée, à des proportions variables, par du compost produit localement en étudiant les réponses des plants de tomate cultivés dans ces substrats soumis à trois fréquences d'arrosages différentes dans le but de créer des conditions hydriques différentes. Les plants de tomate réagissent différemment dans des conditions normales de disponibilité de l'eau et dans des conditions du déficit de celle-ci (stress hydrique). Les symptômes liés à ce dernier révèlent les qualités nutritives des substrats notamment leurs capacités de rétention. Les résultats obtenus avec les différents paramètres étudiés se convergent dans tous les substrats et avec toutes les fréquences d'arrosage.

En effet pour le paramètre taux de germination et son évolution, on a eu des résultats presque similaires à l'exception du substrat TS où nous avons obtenu le plus faible taux. Le plus grand taux est obtenu au niveau de la tourbe. Sanchez-Monedero *et al.* (2004) ont révélé que l'augmentation de la CE inhibe l'imbibition, ce qui fait diminuer la germination des graines. La valeur moyenne pour un substrat idéal est de 0,42 dS / m dans une plage de 0,33 à 0,51 dS / m (Abad *et al.* 2001). Pour ce paramètre, les résultats que nous avons obtenus sont contradictoires. La tourbe où le taux de germination est le plus élevé présente la CE la plus élevée alors que le substrat TS qui présente la plus faible CE a donné le taux de germination le plus faible. Donc la CE, dans notre cas, n'a pas eu d'influence sur la germination des graines. Ceci pourrait s'expliquer par la tolérance de notre variété de tomate vis-à-vis de la salinité. Les caractéristiques physiques du substrat tourbe (T) en termes de contact avec les semences et la capacité de rétention d'eau ont donné le meilleur résultat.

Le paramètre longueur de la plus grande racine a révélé que les racines ne s'allongent pas proportionnellement en fonction de l'intensité du stress ressenti par les plants. On a enregistré les racines les plus longues avec la fréquence F1 qui constitue notre témoin. Nous avons obtenu des racines plus longues dans les substrats TC, TCS et C avec la fréquence F3 où le stress est plus intense, qu'avec F2. Cependant, les plants cultivés dans les substrats TS et CS qui ont ressenti un stress plus important, leurs racines ne se sont pas rallongées davantage avec la fréquence F3. Selon Rauf (2008), La croissance racinaire est diminuée ou augmentée en réponse au stress hydrique. L'hypothèse qu'on peut émettre est : soit c'est la grande intensité du stress qui a empêché les racines de se rallonger, soit c'est les

propriétés physiques qui y sont défavorables. Eghball et Maranville (1993), ont remarqués que dans des conditions modérées de déficit hydrique, une augmentation du taux de croissance des racines de maïs est observée comparé à des maïs bien irrigués, cependant les racines de maïs présentent une réduction de croissance en réponse à un déficit hydrique plus sévère. Avec la tourbe, le stress hydrique crée par les deux fréquences F2 et F3 que nous avons appliqué n'a pas affecté la croissance des racines.

La masse sèche racinaire, quant à elle, diminue en fonction de la fréquence d'arrosage. On peut supposer que la densité racinaire diminue aussi. Avec la fréquence F3, nous avons des racines plus longues et une densité racinaire plus faible. D'après Rauf et Sadaqat, (2008), la plasticité du développement et de la croissance des racines en réponse aux conditions d'eau-limitées exige un compromis entre conserver les ressources métaboliques et augmenter le secteur du sol exploré pour conserver un accès à l'eau disponible.

Pour le paramètre longueur de la tige, la longueur de la tige diminue en fonction de la fréquence d'arrosage. Les hauteurs les plus élevées sont obtenus dans les substrats T, TC, et TCS, quel que soit la fréquence. D'après Jayasinghe (2012), la combinaison de la tourbe et du compost dans un support de culture est synergique. La tourbe améliore souvent l'aération et la rétention d'eau, tandis que le compost améliore la capacité de fertilisation d'un substrat.

D'après les deux paramètres nombre de feuilles et longueur des feuilles on constate que la longueur des feuilles n'est pas proportionnelle à leurs nombres. Le plus grand nombre de feuilles est obtenu dans les substrats C et TCS alors que la plus grande longueur des feuilles est obtenue dans le substrat TC. D'après les résultats obtenus pour le facteur nombre de feuilles, les différences sont causées par les substrats qui contiennent du sable en cas de déficit hydrique. Pour ces substrats, l'application d'un stress hydrique, même léger, affecte plus la survie des plants que le développement ou la chute des feuilles. Selon Casadebaiget al, (2008), le nombre de feuilles est peu ou pas affecté par le déficit hydrique. L'expansion foliaire quant à elle, est communément réduite. Cela est associé à une stratégie de conservation de l'eau par la réduction de la transpiration de la plante qui est liée à la surface foliaire. Le facteur nombre de feuilles est donc peu fiable pour tester la qualité des substrats. D'autres facteurs, intrinsèques à la plante ou environnementales, pourraient intervenir dans la détermination de ce facteur.

Les deux facteurs longueur des feuilles et hauteurs des tiges sont proportionnellement réduits en fonction de la fréquence. Les feuilles ne sont pas les seuls organes à restreindre leur expansion en cas de sécheresse. En réalité, tous les organes d'une plante réduisent leur vitesse de croissance mais avec des sensibilités différentes (Spollen et *al*, 1993).

L'étude du paramètre masse sèche de la partie aérienne nous résume l'impact du stress hydrique sur les deux paramètres précédents. Ici on constate que l'eau est l'élément essentiel dans la synthèse de la matière sèche. On remarque un taux de diminution plus grand que celui enregistré dans les deux paramètres hauteur de la tige et longueur des feuilles. Cette différence, du taux de diminution, pourrait être due à une diminution de la surface foliaire et du diamètre de la tige ; deux facteurs que nous n'avons pas étudiés.

Le poids sec total diminue aussi en fonction de la fréquence et le type du substrat. Cependant cette diminution est différente de celle de la partie aérienne. Les synthèses des deux parties sèches aérienne et racinaire ne sont pas proportionnelles en fonction des substrats. Les caractéristiques physico-chimiques de ces derniers rentrent en jeu pour déterminer le rapport entre les deux parties.

La tourbe avec de bonnes caractéristiques physiques ($D_a = 0,1\text{g/cm}^3$) a favorisée le développement des racines, contrairement aux substrats TS et CS qui ont les densités les plus grande ($1,18\text{ g/cm}^3$ et $1,08\text{g/cm}^3$). Plus la densité apparente d'un substrat est faible, plus la porosité est forte et inversement. Cette dernière (porosité) détermine l'espace libre disponible pour la circulation de l'eau, de l'air et le développement des racines (Jaenicke 1999).

Dans le substrat TC : avec ses bonnes caractéristiques physico-chimiques a donné le meilleur résultat dans la synthèse de la matière sèche avec la fréquence F1. Ceci résume le rôle que joue chaque élément dans le sol. Chaque élément peut être un facteur limitant pour l'autre. La complémentarité des caractéristiques physiques et chimiques dans ce substrat avec la présence de l'eau a donné le meilleur résultat dans les deux parties aérienne et racinaire pour la synthèse de la matière sèche.

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans notre étude, deux facteurs sont associés, substrat et fréquence d'arrosage. Avec trois fréquences d'arrosage et six substrats, nous avons créé dix-huit situations différentes de disponibilité de l'eau pour les plants. Ces dernières se distinguent en fonction de la structure et la texture des substrats. Les substrats Tourbe-Compost et Tourbe-Compost-Sable ont permis d'obtenir les meilleurs développements des plants de tomate avec les trois fréquences d'arrosage appliquées. La tourbe et le compost ont des effets synergiques. La substitution de la tourbe par le compost est donc possible et conseillée. L'ajout du sable dans les substrats a joué un rôle négatif en augmentant sa densité. Cependant, c'est un bon alcalisant pour les substrats acides où le degré d'acidité est nocif. Les plants de tomate ont réagi différemment avec les trois fréquences d'arrosage. Ils se sont adaptés à toutes les situations hydriques. Notre étude a pu révéler qu'un stress hydrique léger peut être bénéfique pour les plants. L'ajustement de la fréquence d'arrosage peut préparer les plants à s'adapter dans des situations de stress. C'est le cas d'une transplantation en plein champs ou les plants seront soumis aux aléas climatiques.

Ainsi les pépiniéristes peuvent réduire leurs couts d'investissement en se recourant à des substrats locaux pour la production de plants. C'est une bonne alternative dans la mesure où elle crée un circuit économique dont l'intérêt ne peut être que national en réduisant les importations et en créant des emplois. La réduction de l'utilisation de la tourbe est aussi bénéfique sur le plan écologique et environnemental. La préservation de celle-ci conduit à la protection des écosystèmes des zones humides en voie de disparition

Perspectives

- ❖ Faire des expérimentations pour améliorer notre compost, en variant différents intrants (grignons d'olives, marnes de raisin...), à des proportions variables pour trouver une meilleure combinaison et travailler sur le processus du compostage dans le but d'obtenir un compost avec des caractéristiques physiques meilleures ;
- ❖ Faire des expériences en quantifiant l'intensité du stress hydrique par la mesure des potentiels hydriques de la plante et du substrat ;
- ❖ Faire d'autres expériences en incluant ce compost dans la production de plants autres que la tomate et les plants maraichers (plantes ornementales, plants forestiers) ;
- ❖ Le compost serait un très bon amendement et un très bon engrais organique. Encourager sa production et son utilisation dans la perspective de développer l'agriculture biologique ;

BIBLIOGRAPHIE

- **Abad M., Noguera P., Bures S. 2001.** National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresour Technol* 77(2):197–200. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00152-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00152-8)
- **Abebe T., Guenzi A.C., Martin B., Cushman J.C. 2003.** Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant Physiology*, 131, 1748-55
- **Altmann M. 2008.** Socio-economic impact of the peat and growing media industry on horticulture in the EU. Epagma, Brussel
- **Amha Y., Bohne H., Schmilewski G., Picken P., Reinikainen O., 2010.** Physical, chemical and botanical characteristics of peats used in the horticultural industry. *Eur J Horticult Sci* 75(4):177–183
- **Abdallah F., Salamini F., Leister D. 2000.** A prediction of the size and evolutionary origin of the proteome of chloroplasts of Arabidopsis. *Trends Plant Sci* 5(4): 141–142. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01574-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01574-0)
- **Anonyme, 2007.** Ministère de l’agriculture et du développement rural, direction des statistiques agricoles
- **Altmann M. 2008.** Socio-economic impact of the peat and growing media industry on horticulture in the EU. Epagma, Brussel
- **Berger 1973.** Le potentiel hydrique et la résistance à la diffusion dans les stomates indicateurs de l’état hydrique de la plante. In : réponse des plantes aux facteurs climatiques. Act coll. Uppsala, 1970, 201-212
- **Boussa S., Fettis Y., 2018.** Production de plants sur compost : cas du compost de sous produits oléicole. Mémoire de Master UMMTO. Tizi-Ouzou. Algérie. P : 49
- **Carmona E., Moreno MT., Avilés M., Ordovás J. 2012.** Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Sci Hortic* 137:69–74. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.023>
- **Chaux CL. et Foury CL. 1994.** Culture légumières. Tome III Ed : Lavoisier (543p)

- **Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML., Ricardo CPP, Osorio ML., Pinheiro C. 2002.** How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89,907916.
- **Ceglie FG., BustamanteMA., Ben AmaraM., Tittarelli F.2015.**The challenge of peat substitution in organic seedling production: optimization of growing media formulation through mixture design and response surface analysis. *PLoS One* 10(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128600>
- **Clemmensen A.W., (2004)** Physical characteristics of Miscanthus composts compared to peat and wood fiber growth substrates. *Compost SciUtil* 12(3):219–224
- **Chong C. 2005.**Experiences with wastes and composts in nursery substrates. HortTechnology.
- **De Raissac. M. 1992.** Mécanisme d’adaptation a la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées l’agronome tropical 46, 1, 29-38
- **Derieux, 1983.** Sélection et adaptation. In physiologie de maïs INRA, ROYAN 15-17 mars 1983
- **Fitzpatrick GE.2001.** Compost utilization in ornamental and nursery crop production systems. *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*:135–150
- **Frost MD., Cole JC., Dole JM., Basta NT. 2002.**Media constituents, micronutrientfertilizer source, and calcium applications influence iron, manganese, and zinc leaching. *J Plant Nutr* 25(2):315–326
- **Gallais A., Bannerot H.1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Paris, INRA. 765p
- **Gruda N., Schnitzler WH.2004.** Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants—I. Physical properties of wood fiber substrates. *SciHortic* 100(1–4):309–322. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.001>
- **Gausson H., Lefoy J., Ozenda P.1982.** Précis de botanique 2^{eme} édition. Masson. Paris
- **Granier C., Aguirrezabal L., Chenu K., Cookson SJ., Dauzat M, Hamard P, Simonneau T., Tardieu F.2006.**PHENOPSIS, an automated platform for reproducible phenotyping of plant responses to soil water deficit in *Arabidopsis*

thaliana permitted the identification of an accession with low sensitivity to soil water deficit. *New Phytologist* 169: 623-635.

- **Jacob J.P., Janssen, J.L.M. 1977.** Culture maraichères spéciales. Les solanacées fruit. Institut national agronomique HASSAN-BADI
- **Jaenicke H. 1999.** Good tree nursery practices: practical guidelines for research nurseries. World Agroforestry Centre, Nairobi, p 99
- **Jayasinghe GY. 2012.** Composted sewage sludge as an alternative potting media for lettuce cultivation. *Commun Soil Sci Plant Anal* 43(22):2878–2887. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.728264>
- **Jean-Yves PERON, 2004.** Références Production légumières : 2^e édition 613p
- **Katerji, Itier, 1985.** Critères physicochimique du stress hydrique. Application aux déclenchement de l'irrigation. In : les bases de la bioclimatologie. INRA, Méribel, 18-22
- **Kapuya et al. 1985.** Water stress tolerance and proline accumulation in *Phaseolus vulgaris*. *Acta Bota. Neetl* 34 (3) 293-300
- **Kolev N. 1976.** les cultures maraichères en Algérie. Tome I: Légumes- fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et des réformes agraires. 150p.
- **Laumonier R. 1979.** Cultures légumières et maraichères. Tome III. Ed. JB Baillièrè. Paris. 279p
- **Levitt et al. 1960.** Some problems in drought resistance. *Bull. Ress. Counc. Isr., Select. D, 8* : 173-180
- **Morel P., Poncet P., Rivière L.M. 2000.** Les supports de culture horticoles: les matériaux complémentaires et alternatifs à la tourbe. Ed. INRA, Paris: 87.
- **Manas P., Castro E., de las Heras J. 2009.** Irrigation with treated wastewater: effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop and dynamics of microorganisms. *Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 44(12):1261–1273. <https://doi.org/10.1080/10934520903140033>
- **Pinamonti F., Stringari G., Zorzi G. 1997.** Use of compost in soilless cultivation. *Compost Sci Util* 5(2):38–46
- **Raemaeker R. 2000.** Agriculture en Afrique tropicale. DGCI : Direction générale de la coopération internationale D-2001/0218/1

- **Rauf S., Sadaqat H. 2008.** Identification of physiological traits and genotypes combined to high achene yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water regimes. *Australian Journal of Crop Sciences* **1**, 23–30.
- **Raviv M., Medina S., Krasnovsky A., Ziadna H. 2002.** Conserving nitrogen during composting. *Biocycle* **43(9)**:48–50
- **Rey Y., Costes C. 1965.** La physiologie de la tomate CNRA. Station centrale de physiologie végétale. Versailles. 104p
- **Reymond M., Muller B., Leonardi A., Charcosset A., Tardieu F. 2003.** Combining quantitative trait loci analysis and an ecophysiological model to analyse the genetic variability of the responses of leaf growth to temperature and water deficit. *Plant Physiology*, **131**, 664-675
- **Robelin, 1983, De Raissac 1992.** Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. In physiologie du Maïs. ROYAN 15-17 mars 1983
- **Salifu KF., Jacobs DF., Pardillo G., Schott M. 2006.** Response of grafted *Juglans nigra* to increasing nutrient availability: growth, nutrition, and nutrient retention in root plugs. *Hortscience* **41(6)**:1477–1480
- **Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Paredes C., Bernal M.P. 2001.** Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresour Technol* **78**:301–308
- **Shankara M., Naika L. 2005.** La culture des tomates. Série Agrodok N 17. Ed. Pays –Bas. Pp 6-24
- **Tardieu 1996.** Drought perception by plants. *Plants growth regulation* **20** : 93-104
- **Tardieu et al. 1985.** Régulation des transferts hydriques chez les plantes soumises à la sécheresse. Act de l'école-chercheurs. INRA, bioclimatologie. LE Croisis 3-7 avril 1995 61-82
- **Westgate M.E., Boyer J.S. 1985.** Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. *Planta*, **164**, 540-549
- **Zaller J.G. 2007.** Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *SciHortic* **112(2)**:191–199. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.023>

ANNEXES

Tableau N°1 : résumant les valeurs moyennes de la densité apparente, du pH et la conductivité électrique des substrats

sub	T		C		TC		TCS		TS		CS	
	moy	ET	moy	ET	moy	ET	moy	ET	moy	ET	moy	ET
Da	0,097	0,004	0,285	0,005	0,233	0,016	1,089	0,022	1,181	0,069	0,885	0,028
pH	5,38	0,05	6,65	0,03	6,46	0,03	6,61	0,31	7,33	0,05	7,41	0,02
CE	7,18	0,16	3,66	0,07	3,29	0,12	1,03	0,01	0,82	0,38	1,05	0,05

Tableau N°2 : Taux de germination dans les différents substrats

Substrat	Taux de germination%	
	moyenne	Ecart type
T	90	9
C	76	19
TC	80	14
TS	66	21
CS	86	14
TCS	80	22

Tableau N°3 : longueur des racines dans les différents substrats en fonction de la durée de la fréquence d'arrosage

Substrat	Long R					
	F1		F2		F3	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
T	18	5,05	16,2	3,82	12,9	5,13
C	11,3	2,41	6,1	2,27	11,6	5,66
TC	16,2	5,37	10,2	2,51	11,25	4,52
TS	9,4	3,15	4,5	1,48	2,6	5,81
CS	13,1	5,66	3,1	3,03	1,3	2,91
TCS	14,5	5,62	9	2,67	10,8	5,23

Tableau N°4 : le poids sec racinaire dans les différents substrats avec les différentes fréquences

PSR						
Sub	F1		F2		F3	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
T	0,61	0,33	0,31	0,12	0,26	0,07
C	0,44	0,11	0,13	0,05	0,1	0,04
TC	0,6	0,15	0,22	0,04	0,15	0,05
TS	0,1	0,05	0,02	0,02	0,02	0,04
CS	0,41	0,19	0,04	0,03	0,01	0,02
TCS	0,58	0,13	0,21	0,13	0,14	0,11

Tableau N°5 : hauteurs des plants dans les différents substrats en fonction des fréquences d'arrosage

H T						
Sub	F1		F2		F3	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
T	17,4	4,56	14,6	2,61	13,8	1,48
C	19,8	3,70	11,3	2,59	10,1	2,19
TC	24,6	1,67	17,6	3,21	13,37	3,35
TS	8,3	2,2	5,7	1,20	1,7	3,80
CS	20,8	6,30	6,3	5,83	1,7	3,80
TCS	23,8	2,95	14,6	5,59	11,3	4,76

Tableau N°6 : nombre de feuilles par plants dans les différents substrats en fonction des fréquences d'arrosage

Nb F						
Sub	F1		F2		F3	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
T	9,2	1,64	6,4	3,65	8,2	0,45
C	11,2	0,45	8	1,22	6,6	0,89
TC	10,2	1,10	9,4	0,89	8,25	0,96
TS	6,6	1,52	3,4	3,13	1,4	3,13
CS	10,4	1,95	4,2	3,9	1,2	2,68
TCS	11,2	0,84	8,2	2,05	5	4,80

Tableau N°7 : longueurs des feuilles dans les différents substrats en fonction des trois fréquences

Long F						
Sub	F1		F2		F3	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
T	57,2	18,05	29,6	20,63	40,4	3,21
C	70,6	22,41	37,2	9,36	29,4	5,03
TC	82,2	10,96	63,4	10,97	34	11,83
TS	26,4	10,31	5,9	5,57	2,8	6,26
CS	67	22,28	12,4	11,59	3,8	8,50
TCS	78,4	15,14	46,4	25,88	28,4	29,33

Tableau N°8 : poids sec de la partie aérienne

Psa						
Sub	F1		F2		F3	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
T	1,71	0,70	1,12	0,40	0,82	0,14
C	1,70	0,56	0,58	0,21	0,48	0,21
TC	2,69	0,59	1,11	0,31	0,83	0,26
TS	0,34	0,16	0,10	0,08	0,07	0,13
CS	1,64	0,71	0,24	0,24	0,06	0,12
TCS	2,28	0,64	0,97	0,53	0,70	0,46