



UFAS – SETIF 1

Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE



Évaluations directe et indirecte des substrats de culture issus de tourbe en mélange avec compost sylvicole pour la production des plants de Tomate
Direct and indirect evaluations of culture substrates from of peat mixed by silvicultural compost for the production of Tomato plants

Houda BEMBLI¹ et Youssef M'SADAK^{1*}

⁽¹⁾ Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Sousse - Tunisie

^(*) E-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

ARTICLE INFO

Reçu : 01-02-2017

Accepté : 11-07-2017

Keywords:

Peat; Silvicultural compost; Mixture; Physico-chemical parameters; Morphological behavior; Tomato plants.

Mots clés :

Tourbe ; Compost sylvicole ; Mélange ; Paramètres physico-chimiques ; Comportement morphologique ; Plants de Tomate.

ABSTRACT

Peat is the reference substrate for the growth of seedlings in vegetable nurseries. However, this resource continues to pose problems in terms of supply and currency hemorrhage. To this end, investigations have been carried out to replace it partially, by using other organic resources available at lower cost. The general objective is to develop a suitable growth substrate, while making mixtures of Peat with Screened Silvicultural Compost (CSC, produced on the composting platform attached to the modern forest nursery of Chott Mariem, Sousse, Tunisia), while evaluating their properties physical, chemical and agronomic behavior for the production of tomato plants aboveground. The results obtained show that the substrate SD1 (60% Peat + 40% CSC) and the substrate SE1 (50% Peat + 50% CSC) recorded conformal physico-chemical parameters. Also, these substrates can be considered as suitable mixtures from the point of view of seed germination and tomato plant growth parameters. The partial incorporation of CSC with Peat could be interesting, applying a ratio of 20 to 40%, or even 50%.

RESUME

La Tourbe constitue le substrat de référence pour la croissance des plants en pépinières maraîchères. Cependant, cette ressource ne cesse de poser des problèmes en matière d'approvisionnement et d'hémorragie de devises. À cet effet, des investigations ont été menées pour la substituer partiellement, en utilisant d'autres ressources organiques disponibles à moindre coût. L'objectif général consiste à mettre au point un substrat de croissance adapté, tout en réalisant des mélanges de Tourbe avec Compost Sylvicole Criblé (CSC, produit sur la plate-forme de compostage rattachée à la pépinière forestière moderne de Chott Mariem, Sousse, Tunisie), tout en évaluant leur comportement physique, chimique et agronomique pour la production des plants de Tomate hors sol. Les résultats obtenus montrent que le substrat SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) et le substrat SE1 (50% Tourbe + 50% CSC) ont enregistré des paramètres physico-chimiques conformes. Aussi, ces substrats peuvent être considérés comme des mélanges adéquats de point de vue paramètres de germination des semences et de croissance des plants de Tomate. L'incorporation partielle du CSC avec la Tourbe pourrait être intéressante, en appliquant un ratio de 20 à 40%, voire 50%.

1. Introduction

Pour une meilleure conduite et un comportement agronomique adéquat des plants horticoles, il est indispensable d'utiliser un substrat de bonne qualité physico-chimique. La Tourbe est couramment la matière la plus utilisée pour la production des plants, puisqu'elle contribue à la réduction de certains types de stress (Matkin et Chandler, 1957). En outre, plusieurs études expérimentales ont mis en évidence l'effet des propriétés physico-chimiques de la Tourbe sur la croissance et la physiologie des plants, en particulier, la photosynthèse, le développement racinaire et la nutrition minérale (Folk et al., 1992 ; Bernier et Gonzalez, 1995 ; Heiskanen, 1995 ; Lamhamedi et al., 2001 ; Lamhamedi et al., 2006). Néanmoins, l'augmentation du prix de la Tourbe (Ribeiro et al., 2007), ainsi que son importance pour l'environnement dans le maintien de la biodiversité (Fenner et al., 2007), ont amplifié la pression sociale contre son exploitation intensive. Partant du fait que cette ressource n'est pas facilement renouvelable, les responsables des pépinières se sont orientés vers la recherche de substituts de Tourbe qui sont socialement, économiquement et écologiquement acceptables et d'autres ressources organiques alternatives ont été mises à l'essai (Handar et al., 1985 ; Raviv et al., 1986 ; Verdock, 1998 ; Herrera et al., 2008).

Les ressources organiques, après compostage, peuvent être utilisées comme substrat de croissance pour remplacer la Tourbe (Simins et Manios, 1990 ; Pryce, 1991 ; Garcia-Gomez et al., 2002 ; Benito et al., 2005). La généralisation de l'approche de compostage pour les pays disposant de ressources limitées en Tourbe dans les régions arides est prometteuse (Bakry, 2015). C'est ainsi que de nombreuses études récentes ont mis l'accent sur le compostage de divers matériaux organiques disponibles localement pour leur exploitation en pépinières maraîchères par optimisation physico-chimique du substrat à base de compost et de la fertilisation à base d'extrait de compost (Abad et al., 2001 ; M'Sadak et Ben M'Barek, 2015 ; M'Sadak et Bouallègue, 2015 ; M'Sadak et Fhima, 2015 ; Nzengue et al., 2016).

L'objectif global de la présente étude est l'évaluation directe du comportement physico-chimique des substrats confectionnés à base de la tourbe importée mélangée avec du Compost Sylvicole Criblé (CSB) en modifiant la proportion introduite, ainsi que la caractérisation indirecte du comportement morphologique des plants de Tomate produits en hors sol dans une zone littorale semi-aride de la Tunisie.

2. Matériel et méthodes

Matériel végétal

Une espèce maraîchère à croissance rapide, Tomate (*Solanum lycopersicum L.*), a été installée pour étudier la réponse végétale vis-à-vis de différents substrats de croissance. La variété utilisée des semences est Riogrande Standards.

Substrats de croissance mis à l'essai

Substrats purs

Tourbe brune

Produit importé (Substrat Témoin), de marque KLASMANN.

Compost sylvicole

Le compost utilisé lors de cette investigation est du Compost Sylvicole Criblé (CSC) à la maille carrée 10 x 10 mm², produit sur la plate-forme de compostage rattachée à la pépinière moderne de Chott Mariem (région de Sousse, Tunisie), à partir de la mise en fermentation aérobie du rebroyat des branches fraîches d'*Acacia cyanophylla*, obtenu à partir d'un double broyage séparé à couteaux ensuite à marteaux à l'aide de deux broyeurs simples distincts.

Substrats de culture confectionnés

A partir de deux substrats purs cités précédemment, on a réalisé huit mélanges, tout en substituant partiellement la Tourbe par le CSC. On a utilisé différentes combinaisons de la Tourbe et du CSC. Les quatre mélanges élaborés sont relatés dans le Tableau 1. Le but recherché était d'identifier la proportion convenable du CSC à incorporer à un substrat tourbeux afin de produire des plants de Tomate de qualité.

Évaluation directe des substrats de culture

L'évaluation directe des substrats de culture consiste en une détermination des principales caractéristiques physico-chimiques. La caractérisation physique a porté sur la masse volumique apparente et les porosités (totale, d'aération et de rétention), alors que la caractérisation chimique s'est limitée au pH, à la conductivité électrique et à la fraction organique présente.

Tableau 1 : Identification et composition des mélanges confectionnés

Mélanges T + C1		
Substrats	% T *	% C1 **
SA	100	00
SB1	80	20
SC1	70	30
SD1	60	40
SE1	50	50

* T : Tourbe (Témoin) ** C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois)

Comportement physique

Masse volumique apparente

La masse volumique apparente (mva) correspond à la masse de l'unité de volume à l'état sec. La mesure de la mva a été accomplie sur les divers substrats mis en œuvre. Elle consiste à mettre les échantillons dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures pour déterminer la masse sèche (M'Sadak et Ben M'Barek, 2014). Elle est déterminée en appliquant la formule suivante:

$$mva \text{ (g/cm}^3\text{)} = (M_s - M_c) / V$$

Avec M_s : la masse sèche de l'échantillon (g) ; M_c : la masse de la capsule vide (g) ; et V : le volume de la capsule (100 cc).

Porosité

La porosité ou l'espace poral correspond à l'évaluation des espaces vides par rapport à l'encombrement total d'un substrat (Michel, sd ; Morard, 1995). Cette porosité représente la proportion du substrat qui n'est pas occupée par la matière organique solide (Comtois et al., 2004). Pour un substrat de culture, l'estimation de trois porosités relatées ci-après, en faisant appel au Test standard de porosité, permet de renseigner sur son comportement physique.

* La porosité totale (Pt) est déterminée par le rapport entre le volume versé à la saturation du substrat en eau et le volume total (attente d'une heure environ, puis addition de l'eau, s'il est nécessaire pour avoir une bonne saturation en eau du substrat).

* La porosité d'aération (Pa) est déterminée par le rapport entre le volume ressuyé à travers les trous de drainage du récipient sous l'effet des forces de gravité et le volume total (en laissant l'eau s'infiltrer pendant 10 mn environ).

* La porosité de rétention (Pr) est déterminée par différence entre la porosité totale et la porosité d'aération. Les formules utilisées pour calculer les trois porosités sont relatées ci-après (CPVQ, 1993).

(1) Pt (%) = (volume versé/ volume total) x 100

(2) Pa (%) = (volume récupéré/ volume total) x 100

(3) Pr (%) = Pt(%) – Pa (%)

Les normes de porosité adoptées dans le Contexte Tunisien ont été reproduites à partir des normes Canadiennes (CPVQ, 1993), en favorisant la rétention sur l'aération, compte tenu du climat sec de la Tunisie. A ce propos, les proportions de porosité retenues, comme base pour la comparaison entre substrats, sont les suivantes : Pt ≥ 50%, Pa ≥ 20% et Pr ≥ 30%.

Comportement chimique

pH

Un pH correct du substrat est très important pour le bon développement des plants, car les éléments nutritifs deviennent disponibles pour les plants à différents niveaux du pH (Vallée et Bilodeau, 1999). La plupart des plants se développent mieux en pH légèrement acide, de 5,5 à 6,5 (Hannah, 2006). En culture en conteneur, puisque les éléments nutritifs sont fournis régulièrement, le pH du substrat est moins important. Si la valeur du pH d'un substrat dépasse 6,5, des carences peuvent se produire (Comtois et al., 2004).

Le pH est mesuré après mise en solution de 20 g de l'échantillon, dans 100 ml d'eau distillée. La méthode employée consiste à préparer une suspension du substrat dilué séché dans 5 fois son volume d'eau (1 : 5), la laisser en agitation pendant 5 mn, puis la faire reposer pendant au moins deux heures. La lecture du pH se fait moyennant un pH-mètre (M'Sadak et Ben M'Barek, 2016).

Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) reflète la concentration en sels de la solution du substrat (M'Sadak et al., 2011). Les principales sources d'apport en sels proviennent des résidus résultant de certains engrais, de l'eau d'irrigation et du substrat lui-même. Cette dernière source est toutefois minime dans les substrats à base de Tourbe. La petite taille des cavités utilisées en production de plants forestiers peut aussi accroître la salinité du substrat, en augmentant le contact du substrat avec les sels d'engrais (Boudreault, 2010).

La CE est la mesure de la concentration des ions solubles, afin d'apprécier la salinité. Elle est mesurée par un conductimètre et elle est couramment exprimée en mS/cm ou mmhos/cm³. Un échantillon de substrat est extrait avec de l'eau à 20 ± 1°C (Rapport d'extraction de 1: 5 pour dissoudre les électrolytes) (M'Sadak et Ben M'Barek, 2016). La CE optimale de substrats se situe entre 1,5 et 2,25 mmhos/cm³ et ne doit pas excéder 2,5 à 3 mmhos/cm³, selon le rapport de dilution 1/2. Si elle est inférieure à 1,5, le niveau de fertilité peut être trop bas (CPVQ, 1993). La salinité est déterminée selon la formule suivante :

$$S \text{ (g/l)} = 0,7 \times \text{CE (mmhos/cm}^3\text{)}$$

Matière organique

La détermination de la matière organique (MO) et des cendres est effectuée suivant la Norme Tunisienne (NT) relative au dosage de la MO du fumier. La méthode considérée pour la détermination du taux de la MO au niveau de chaque substrat consiste à peser 20 g de chaque substrat que l'on met dans l'étuve pendant 24 heures à 70°C, puis on réalise la calcination, à 900°C pendant au moins 6 heures dans un four à moufle, de 5 g des échantillons, préalablement séchés pendant 2 heures à l'étuve et on détermine le Résidu Sec 'RS' (M'Sadak et Ben M'Barek, 2014).

La teneur en MO est déterminée, selon l'équation suivante :

$$\text{MO (\%)} = (M_2 - M_1) \times 100 / M_2$$

Avec : M₁ : Masse avant calcination (g) ; M₂ : Masse après calcination (g).

A partir de la MO, une déduction de la teneur en Carbone Organique Total (COT) sera possible tout en appliquant la relation suivante :

$$\text{COT (\%)} = \text{MO} / 1,72$$

Évaluation indirecte des substrats de culture

Méthodologie d'évaluation et dispositifs expérimentaux mis en place

L'appréciation de la valeur agronomique du CSC en état de mélange avec la tourbe à différentes proportions, s'est manifestée à l'aide d'un test portant sur le semis hors sol des graines de Tomate.

Le dispositif expérimental adopté lors de cet essai est le dispositif Blocs Aléatoires Complets (BAC) avec un seul facteur étudié (substrat de culture) et un seul facteur contrôlé (3 répétitions). La disposition des substrats, lors de l'essai, est exposée sur la figure 1.

Bloc 1	SA	SD1	SE1	SB1	SC1
Bloc 2	SE1	SC1	SA	SD1	SB1
Bloc 3	SD1	SB1	SC1	SA	SE1

Figure 1 : Dispositif expérimental adopté

Paramètres d'évaluation indirecte

Au cours de ce travail, l'évaluation indirecte a été basée surtout, d'une part, sur la détermination du pourcentage de germination des graines de Tomate installées sur chaque substrat après une semaine de la levée, et d'autre part, sur le suivi de l'évolution de la partie aérienne des plants.

Suivi de la germination des semences

La levée des plants ou germination des graines est une observation qui consiste à un comptage des plants levés et/ou des graines germées. Elle permet de déterminer le taux de germination et la vitesse de la levée. Au niveau de chaque bloc, le % des plants levés est calculé par rapport au nombre des graines de départ (26 alvéoles ou graines/bloc). Le pourcentage de germination correspond à la moyenne de trois blocs.

Suivi de la croissance des plants en hauteur

Pour suivre la croissance des plants, plusieurs paramètres peuvent être utilisés à savoir les paramètres morphologiques et les paramètres physiologiques. L'évaluation de l'impact des différentes combinaisons de la Tourbe avec le CSC sur la croissance des plants, a été effectuée, 14 jours après la date de semis. Elle a été

fondée sur l'étude des paramètres morphologiques des plants, particulièrement, l'accroissement des plants en hauteur (mesure de la partie aérienne). Le suivi de l'évolution de la hauteur, a été accompli, à intervalles réguliers de quatre jours, en ayant recours à des mesures, depuis le collet jusqu'au bourgeon apical à l'aide d'une règle. Lors de chaque Suivi et pour chaque Bloc, on a effectué des mesures selon un échantillonnage systématique non destructif. En effet, au niveau de chaque Bloc, on a choisi 6 Plants homogènes : 6 Plants x 3 Blocs = 18 Plants/Substrat, soit 90 plants de Tomate/Suivi.

Ajustement de la courbe de croissance des plants

L'évolution de la croissance au cours du temps peut être traduite par des courbes de croissance, qu'il est utile de réduire à des modèles mathématiques simples, permettant de dégager des paramètres facilitant les comparaisons. Cruellement, les courbes représentatives de la longueur de la tige sont proches des courbes linéaires. L'établissement des courbes de croissance a été réalisé à l'aide du logiciel « EXCEL, version 2007 ».

Si l'on néglige les variations de détails, les courbes de croissance peuvent être décrites par un modèle simple, qui conduit à des formules mathématiques commodes facilitant les comparaisons entre les divers matériels ou conditions expérimentales influençant la croissance. Particulièrement, l'évolution de la croissance en hauteur (Y) est ajustée par un modèle linéaire ayant l'équation suivante :

$$Y = A x + B$$

Pour chaque essai, on a testé la variation de différents paramètres de cette équation suivant le facteur étudié (substrat de croissance).

Analyse statistique des résultats relevés

Les données obtenues pour chaque paramètre (germination cumulée, croissance moyenne en hauteur des plants) ont été dépouillées, en utilisant le logiciel statistique SPSS.20. L'interprétation fait appel respectivement à l'analyse de la variance (ANOVA) et à la comparaison des moyennes de différents niveaux de traitement (Test Duncan), tout en recherchant là où les moyennes sont considérées comme étant égales, si au contraire, il y a une différence significative, le test Duncan permet de compléter l'interprétation et d'identifier les groupes de moyennes homogènes.

3. Résultats et discussion

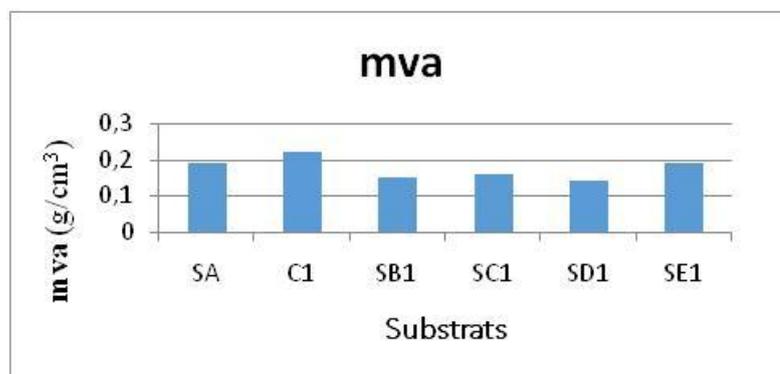
Évaluation de principales propriétés physico-chimiques

Appréciation de la qualité physique des substrats

Évaluation de la masse volumique apparente sèche

La phase solide du substrat peut être approchée par sa masse volumique ou sa densité. Ici, le substrat pur C1 est le plus lourd avec une masse volumique apparente maximale, du fait qu'il présente le degré de compactage le plus important. En contrepartie, le substrat SD1 possède la masse volumique apparente la plus faible favorable pour pallier les problèmes d'ancrage des racines (figure 2). Globalement, il s'agit des substrats légers avec des masses volumiques apparentes variant de 0,14 à 0,22 g/cm³, et par conséquent, les substrats considérés ne posent pas de contraintes majeures quant à leur emploi pour l'élevage des plants de Tomate.

Clauzel (1997) rapporte que plus la masse volumique apparente est faible, plus la porosité est forte, ce qui est quasiment adéquat avec les résultats relevés. Selon Lamhamedi et al. (1997), la masse volumique apparente augmente la résistance mécanique du substrat.



SA : Tourbe (Témoin) ; C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)

Figure 2 : Masse volumique apparente moyenne de différents substrats étudiés

Évaluation de la porosité des substrats à partir du test standard

La figure 3 illustre les valeurs de porosité obtenues pour les trois substrats purs considérés. La qualité et la composition du substrat de culture jouent un rôle important dans l'obtention des plants de qualité. La porosité totale peut être influencée par la variabilité dimensionnelle dominante des particules, les propriétés physiques et chimiques et la nature du mélange. Un bon substrat de culture possède un ordre de grandeur de la porosité totale de 80 à 90% dans le cas de la tourbe brune (M'Sadak et al., 2013b).

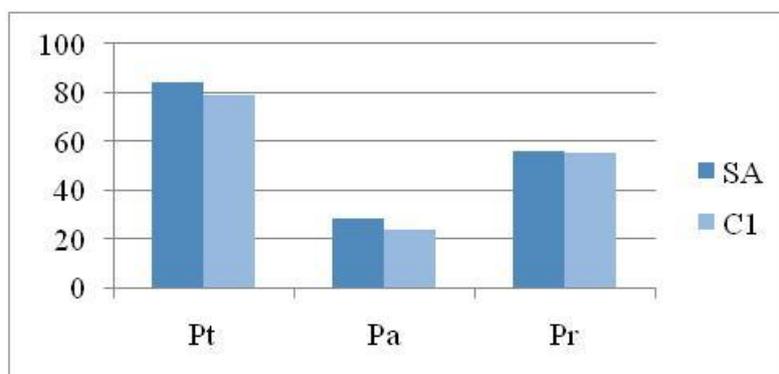
La Tourbe SA et le compost C1 répond tous aux normes pour la porosité totale ($P_t \geq 50\%$). Pour la porosité d'aération, le compost C1 présente une valeur moins importante (24%) par rapport à celle de la Tourbe SA.

Les deux substrats purs SA et C1 présentent une P_r élevée ($\geq 50\%$). Les particules fines de tels substrats permettent de stocker plus d'eau dans les micropores et peuvent avoir une disponibilité en eau (P_r) élevée, et par conséquent, ils peuvent être considérés comme substrats rétenteurs.

L'analyse des résultats du test standard de porosité correspondants aux divers mélanges testés (figure 4) permet de déduire que les substrats élaborés répondent aux normes de point de vue P_t ($\geq 50\%$) et P_a ($\geq 20\%$). Il en est de même pour P_r ($\geq 30\%$).

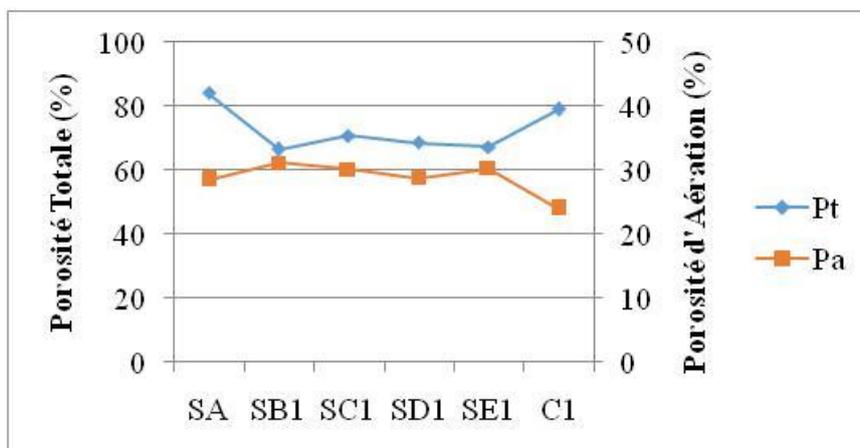
Il convient de rappeler qu'en pépinière, les caractéristiques physiques (granulométrie et porosité) du substrat de culture sont considérées parmi les facteurs décisifs de la qualité morphologique des plants. Elles agissent directement sur l'ensemble des fonctions racinaires des plants, notamment sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (Landis et al., 1990).

Finalement, on peut affirmer que pour pouvoir produire un plant de qualité, le substrat de croissance doit être généralement stable, riche en éléments nutritifs et avoir une bonne porosité issue de l'ajustement granulométrique notamment par criblage (M'Sadak et al., 2014).



SA : Tourbe (Témoin) C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois)
Pt : Porosité totale ; Pa : Porosité d'aération ; Pr : Porosité de rétention

Figure 3 : Porosités moyennes (%) de différents substrats purs testés



Pt : Porosité totale Pa : Porosité d'aération SA : Tourbe (Témoin) ; C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)

Figure 4 : Variation des porosités totale et d'aération des substrats élaborés

Appréciation de la qualité chimique des substrats**Évaluation du pH, de la conductivité électrique et de la salinité**

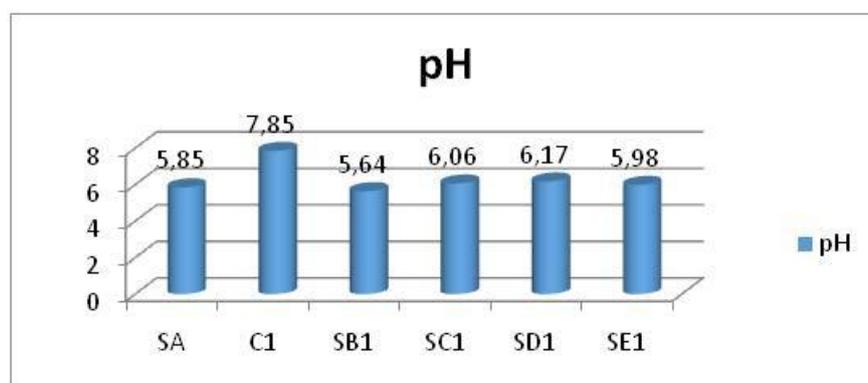
Le pH pourrait être un indicateur de la maturité complète d'un compost. La valeur du pH d'un compost mûr se situe normalement entre 7 et 8 (Larbi, 2006) ou entre 7 et 9 (Bernal *et al.*, 1998). La figure 5 relate les résultats acquis relatifs au pH de différents substrats de croissance mis à l'essai. Les résultats exprimés montrent que les substrats étudiés présentent un pH acide. En effet, les valeurs de pH oscillent entre 5,64 et 6,17, à l'exception du résultat relevé pour le compost C1, ayant un pH basique égal à 7,85, et par conséquent, il est considéré comme substrat mûr. Pour un pH supérieur à 7,5, l'absorption du Fe par la plante devient très limitée et pour un pH supérieur à 8,5, le milieu devient fortement alcalin et l'assimilation du Cu, Zn, Mn, Fe et N tend à diminuer progressivement (ALCOR & AXENNE, 2003). Par comparaison aux travaux antérieurs sur le compostage de la biomasse sylvicole en Tunisie (Ammari *et al.*, 2003), la valeur moyenne du pH du CSB est acceptable (pH proche de la neutralité). Aussi, selon Ammari *et al.* (2003), le pH relativement neutre du compost mature à base d'Acacia, associé à la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation pourraient affecter négativement la disponibilité des éléments nutritifs dans la rhizosphère des plants. La composition diversifiée des substrats a un effet hautement significatif sur le pH. En effet, les valeurs du pH varient avec la variation des proportions du CSC incorporé avec la Tourbe.

D'après le Tableau 2, on remarque que la conductivité électrique et la salinité, dont les valeurs élevées peuvent affecter la croissance des plants, sont acceptables, répondant ainsi aux normes, presque pour tous les substrats étudiés, à l'exception du compost C1. Sanchez-Monedero *et al.* (2004) ont révélé que l'augmentation de la CE inhibe l'imbibition de l'eau et fait diminuer la germination des graines. Une haute CE peut entraver le développement des plants cultivés. Kratky et Mishima, 1981 ; Herrera *et al.*, 2008). M'Sadak *et al.* (2013a) ont rapporté que les substrats de culture devraient avoir une faible CE inférieure à 3 mS/cm. Au delà de cette norme, des répercussions négatives pourraient avoir lieu sur la germination et l'émergence des semences. La CE peut constituer une indication sur la disponibilité des éléments minéraux dans le milieu de culture. Les plantes s'enracinent mieux dans un substrat contenant peu d'éléments nutritifs (Comtois *et al.*, 2004). La salinité peut également se développer à partir de la minéralisation d'azote et de la production d'acides organiques (Tambone *et al.*, 2009). Pour un compost, selon (Fuchs *et al.*, 2001), la CE ne doit pas dépasser 4 mS/cm. La salinité excessive du compost peut être à l'origine de sa phytotoxicité (Tambone *et al.*, 2009).

Tableau 2 : Conductivité électrique (CE) et salinité (S) de différents substrats étudiés

Substrats	CE (mS/cm)	S (g/l)
SA	1,24	0,86
C1	3,15	2,20
SB1	1,80	1,29
SC1	2,02	1,41
SD1	2,28	1,59
SE1	2,21	1,54

SA : Tourbe (Témoins) ; C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)



SA : Tourbe (Témoins) ; C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)

Figure 5 : Variation du pH de différents substrats considérés

Évaluation de la fraction organique

La teneur en MO est d'une importance fondamentale pour la fertilité des substrats, du fait de ses effets physiques, chimiques et biologiques. Selon M'Sadak et al. (2013a), le compost mûr doit avoir une teneur en MO inférieure à 50%. Pour un compost de qualité, du point de vue stabilité et maturité, la teneur en MO devrait être comprise entre 35 et 45%. D'après l'analyse chimique mise en œuvre (Tableau 3), une différence notable est enregistrée entre les onze substrats considérés, concernant leur teneur en MO (%). À l'exception du substrat SC1 qui se détache de l'ensemble des substrats, en présentant la plus faible teneur en MO (75,2%), les substrats SA, SB1 et SE1 pourraient être classés en un seul groupe en présentant les teneurs en MO les plus élevées. La teneur en MO est un des premiers critères sur lesquels on se base pour juger de la compostabilité d'un produit donné. L'activité microbienne est notable suite à une diminution de la teneur en MO dans le produit. Selon Larbi (2006), elle est considérée comme un paramètre de qualité et de maturité des composts. Mustin (1987) spécifie que dans le cas du compost, la teneur en MO dépend essentiellement de son degré de maturité. Dans l'ensemble, il convient de noter que les substrats étudiés sont riches en COT avec une moyenne de l'ordre de 50%.

Tableau 3 : Fraction organique de différents substrats utilisés

Substrats	MO (%)	COT (%)
SA	88,2	50,69
C1	82,4	49,53
SB1	89,4	52,79
SD1	81,4	51,27
SC1	75,2	46,86
SE1	90,8	47,90

SA : Tourbe (Témoin) ; C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)

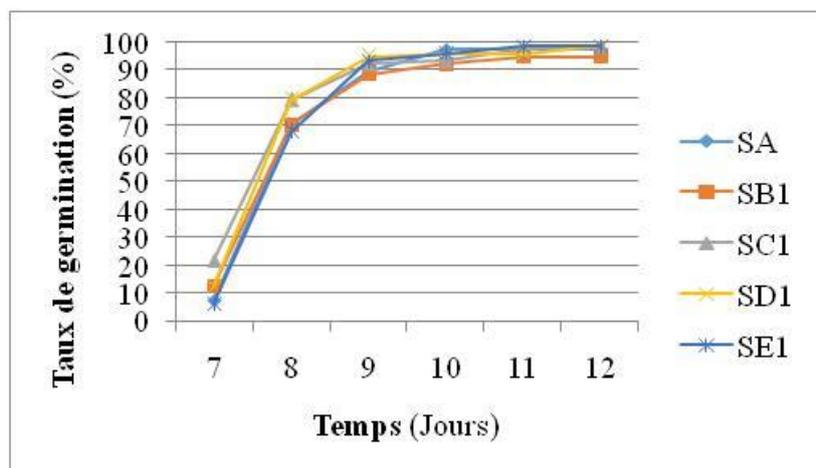
Évaluation indirecte des substrats élaborés

Évolution de la germination des graines semées de Tomate

L'incidence de l'incorporation partielle du CSC dans la confection des substrats de culture peut être déduite à partir de la figure 6 qui illustre le comportement germinatif des semences de Tomate sur T (Témoin) et sur des mélanges (T + C1). Chez la tomate, les résultats trouvés ont montré des faibles taux de germination au début (après une semaine de semis) et des taux élevés plus tard (6 jours après). Il semble que le compost incorporé avec la tourbe a un effet négatif (Retard de germination). Les résultats des essais de germination des semences de tomate sur les différents substrats testés ont dévoilé que les pourcentages de germination ont été relativement identiques. Ces pourcentages ont varié de 94,87% chez le substrat SB1 à 98,71% chez les substrats SC1, SD1 et SE1.

D'une manière générale, les résultats de l'essai de germination sur les différents substrats de culture hors sol ont révélé que les pourcentages de germination de la tomate sont importants. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par M'Sadak et al. (2013b) qui ont montré l'importance de la production et de la croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie). Ainsi, selon M'Sadak et al. (2013a), le Compost Sylvicole Brut (CSB) dévoile un bon résultat de point de vue production des plants maraîchers de qualité en mélange avec la Tourbe et le Méthacompost Avicole (MCA) (80% Tourbe + 10% MCA + 10% CSB).

A titre indicatif, des études ont été réalisées en Tunisie, visant pareillement à optimiser le compost sylvicole de point de vue ratio de mélange avec la tourbe. De tels travaux se sont intéressés à l'évaluation du comportement des plants maraîchers, installés sur divers substrats confectionnés à base de tourbe en mélange avec du compost sylvicole à différentes proportions, notamment de point de vue paramètres morphologiques (Germination et croissance en hauteur). Les espèces maraîchères testées sur mélange Tourbe + Compost Sylvicole sont diverses. On peut citer le Gombo (M'Sadak et al., 2013c), la Pastèque (M'Sadak et Fhima, 2015) et la Tomate (M'Sadak et Fhima, 2015).



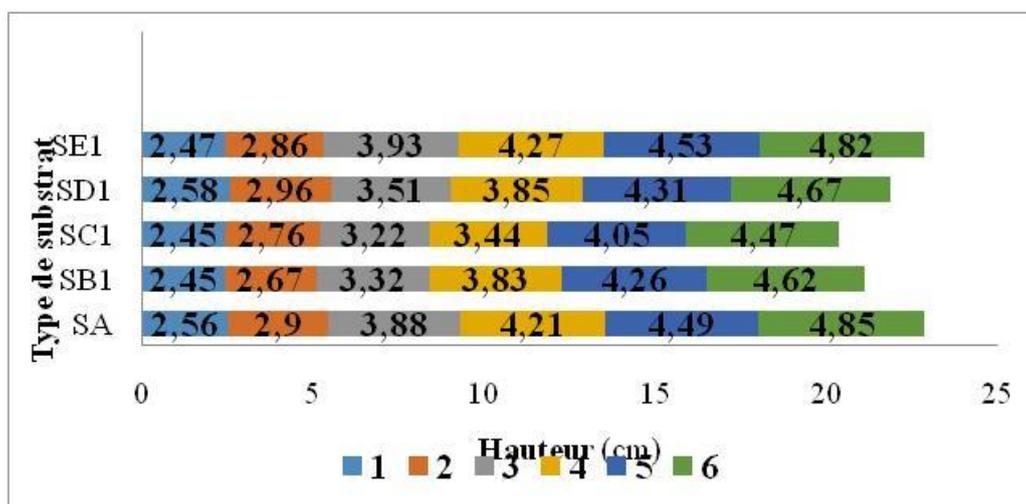
SA : Tourbe (Témoin) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)

Figure 6 : Pourcentages cumulés moyens de germination des semences de Tomate

Évolution de la croissance en hauteur des plants de Tomate

La hauteur constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont étroitement corrélées avec la surface foliaire. Cependant, la hauteur ne révèle pas une corrélation systématique avec la survie, mais plutôt une bonne relation avec la croissance en hauteur (Lamhamedi et al., 2006).

Les résultats relevés (figure 7) dévoilent que le compost incorporé avec la tourbe peut agir positivement sur la croissance végétative. On a constaté que les plants cultivés sur le substrat SC1 s'allongent moins que les plants cultivés sur les substrats SB1 et SD1. Les plants cultivés sur ces derniers substrats s'allongent moins par rapport aux plants cultivés sur les substrats SE1 et SA (Témoin). Cette étude pourrait servir d'assise pour des études complémentaires sur l'utilisation des substrats locaux dans la production d'autres plants maraîchers en pépinière hors sol.



Suivis de croissance en hauteur numérotés de 1 à 6. SA : Tourbe (Témoin) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)

Figure 7 : Évolution de la croissance moyenne en hauteur des plants de Tomate installés

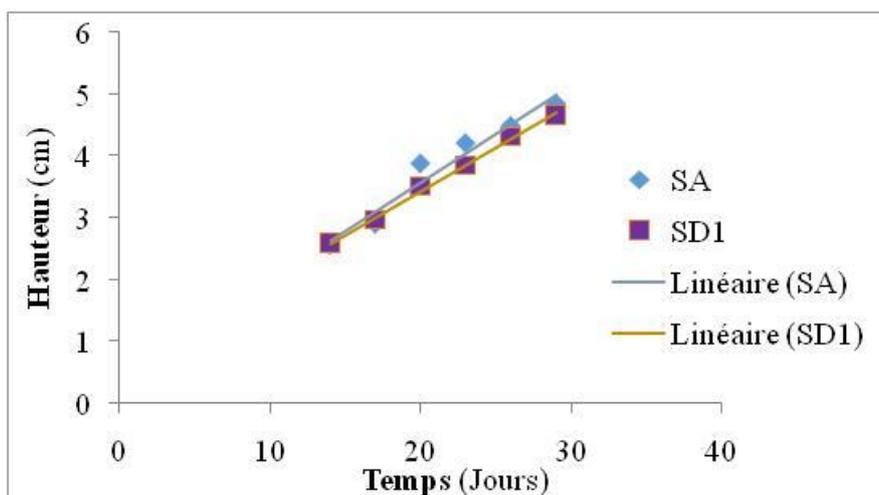
Résultats de l'ajustement linéaire

Les résultats de l'ajustement de la croissance en hauteur des plants installés de cet essai sont présentés dans le Tableau 4. La qualité de l'ajustement est meilleure dans le cas des plants installés sur le substrat SD1 (R^2 le plus élevé) ayant pour courbe d'ajustement celle dévoilée par la figure 8, comparativement avec celle relative à la Tourbe (SA).

Tableau 4 : Paramètres de la courbe de croissance linéaire des plants de Tomate

	R ²	X	Y
SA	0,954	0,426	0,157
SB1	0,988	0,222	0,153
SC1	0,987	0,492	0,135
SD1	0,996	0,608	0,141
SE1	0,936	0,936	0,162

SA : Tourbe (Témoin) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ;
SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC)



* SA : Tourbe (Témoin) ** SD1 : Mélange approprié (60% T + 40% C1)

Figure 8 : Ajustement linéaire de la croissance moyenne des plants de Tomate

Analyse statistique

Taux de germination des semences

Le Tableau 5 résume, pour chaque substrat considéré, le taux cumulé de germination. D'après les résultats relevés, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les cinq substrats en mélange durant les six suivis.

Tableau 5 : Analyse statistique du taux cumulé de germination (%) des semences de Tomate

Suivis	SA	SB1	SC1	SD1	SE1
1	7,68 ^{a*}	12,81 ^a	21,80 ^a	12,81 ^a	6,40 ^a
2	70,51 ^a	70,51 ^a	79,48 ^a	79,48 ^a	67,94 ^a
3	89,74 ^a	88,74 ^a	92,30 ^a	94,87 ^a	93,58 ^a
4	97,43 ^a	92,30 ^a	93,58 ^a	94,87 ^a	94,87 ^a
5	97,43 ^a	94,87 ^a	97,43 ^a	94,87 ^a	97,43 ^a
6	97,43 ^a	94,87 ^a	98,71 ^a	98,71 ^a	97,43 ^a

SA : Tourbe (Témoin) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC).

(*) Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

Croissance en hauteur des plants

Les résultats du Tableau 6 ont révélé qu'il existe une différence, certes significative, entre les cinq substrats de culture testés au sujet de la 4^{ème} mesure réalisée.

Tableau 6 : Analyse statistique de la croissance en hauteur des plants de Tomate installés

Substrat	Hauteur moyenne de la partie aérienne (cm)					
	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Mesure 6
SA	2,55 ^{a*}	2,90 ^a	3,88 ^a	4,21 ^{ab**}	4,49 ^a	4,85 ^a
SB1	2,45 ^a	2,86 ^a	3,57 ^a	3,82 ^{ab}	4,26 ^a	4,62 ^a
SC1	2,45 ^a	2,76 ^a	3,37 ^a	3,65 ^a	4,04 ^a	4,47 ^a
SD1	2,58 ^a	2,96 ^a	3,50 ^a	3,85 ^{ab}	4,31 ^a	4,67 ^a
SE1	2,46 ^a	2,86 ^a	3,93 ^a	4,26 ^b	4,53 ^a	4,82 ^a

SA : Tourbe (Témoin) ; SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) ; SC1 (70% Tourbe + 30% CSC) ; SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) ; SE1 (50% Tourbe + 50% CSC).

(*) Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

(**) Les moyennes suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5% selon le test de Duncan.

4. Conclusion

Le choix du substrat de culture pour la production maraîchère hors sol est très important. Dans l'état présent, la Tourbe est la principale composante des substrats usagés, grâce à ses nombreuses caractéristiques intéressantes. Elle possède physiquement une porosité de rétention et une porosité d'aération convenable, c'est pourquoi, d'autres matières y sont généralement rajoutées en mélange, à titre de substitution.

En tenant compte de l'ensemble des résultats relevés, le compost sylvicole pourrait constituer partiellement un substrat alternatif à la Tourbe pour la production des plants de Tomate. Il suffit de bien ajuster le ratio de mélange pour garantir notamment un comportement physique convenable, base nécessaire pour favoriser le bon départ de la croissance des plants. Aussi, il convient de rechercher un bon comportement chimique du mélange confectionné, indispensable surtout pour l'obtention finale d'un plant de qualité. Cette étude, bien que ponctuelle, permet d'envisager la possibilité d'une substitution partielle de la Tourbe (Témoin) par le compost Sylvicole Criblé dont les effets sur la germination des semences et la croissance en hauteur des plants produits sont approximativement équivalents à ceux du Témoin. Cependant, ces résultats ne sont valables que pour la culture de la tomate sur la Tourbe en mélange avec le Compost Sylvicole en pépinière hors sol. Des études additionnelles doivent être menées pour confirmer l'impact favorable de l'incorporation partielle du Compost Sylvicole avec la Tourbe sur la croissance et le développement des plants de tomate et d'autres plants maraîchers, dans une optique de réduction des importations de Tourbe.

5. Références bibliographiques

- [1]. ABAD M, NOGUERA P, BURE'S S., 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresour. Technol.*, 77,197-200.
- [2]. ALCOR & AXENNE., 2003. Étude stratégique pour le développement des énergies renouvelables en Tunisie-Bilan des réalisations. *Document élaboré par les Bureaux d'Études ALCOR et AXENNE et publié dans le Rapport Final de l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER)*, 148-157.
- [3]. AMMARI Y., LAMHAMED M.S., AKRIMI N., ZINE EL ABIDINE A., 2003. Compostage de la biomasse forestière et son utilisation comme substrat de croissance pour la production de plants en pépinières forestières modernes. *Revue de l'I.N.A.T. Vol. 18 N° 2*, 21 p.
- [4]. BAKRY M., 2015. Développement de substrats de croissance et amélioration des techniques de production de plants des essences agro-forestières adaptées aux zones arides. *Thèse de Doctorat*, Université Laval, Québec, Canada, 174 p.
- [5]. BENITO M., MASAGUER A., DE ANTONIO R., MOLINER A., 2005. Use of pruning waste compost as a component in soil-less growing media. *Bioresour. Technol.*, 96, 597-603.
- [6]. BERNAL M.P., PAREDES C., SANCHEZ M.M.A., CEGARRA J., 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresour. Technol.*, 63, 91-99.
- [7]. BERNIER P.Y., GONZALEZ A., 1995. Effects of the physical properties of Sphagnum peat on the nursery growth of containerized *Picea mariana* and *Picea glauca* seedlings. *Scand. J. For. Res.*, 10, 176-183.
- [8]. BOUDREAU S., 2010. Effets des propriétés physiques et chimiques des substrats sur la croissance et le développement des plants d'Épinette Blanche en récipient après une saison de culture. *M.Sc., Université Laval, Québec, Canada*, 90 p.

- [9]. CLAUZEL J.M., 1997. L'analyse physique du substrat, outil méconnu du producteur hors sol, *Lettre d'information, Laboratoire d'Analyses et de Conseils agronomiques, Bordeaux, France, 3 p.*
- [10]. COMTOIS M., LEGARE M., LIMOGES C.M., MARTINEAU C., MONGEAU B., 2004. La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant. *Document préparé dans le cadre du Programme Horti-2002, Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec (MAPAQ), Canada, 57 p.*
- [11]. CPVQ, 1993. Pépinières- Culture en conteneurs- Substrats. *Éd. Document Technique, Conseil des Productions Végétales du Québec (CPVQ), Canada, 19 p.*
- [12]. FENNER N., OSTLE N.J., MCNAMARA N., SPARKS T., HARMENS H., REYNOLDS B., FREEMAN C., 2007. Elevated CO₂ effects on peat lands plant community carbon dynamics and DOC production. *Ecosystems, 10, 635-647.*
- [13]. FOLK R.S., TIMMER V.R., SCARRATT J.B., 1992. Evaluating peat as a growing medium for jack pine seedlings. 1. *Conventional quality indices. Can. J. For. Res. 22: 945-949.*
- [14]. FUCHS J., GALLI U., SCHLEISS K., WELLINGER A., 2001. Directive de l'ASIC : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. *Document élaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, 11 p.*
- [15]. GARCÍA-GÓMEZ A., BERNAL M.P., ROIG A., 2002. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresour. Technol., 83, 81-87.*
- [16]. HANNAH J., 2006. Bonnes pratiques de culture en pépinières forestière. Directives pratiques pour les pépinières de recherche. *Manuel technique n°3. World Agroforestry Centre (ICRAF), 93 p.*
- [17]. HANDAR Y., INBAR Y., CHEN Y., 1985. Effects of compost maturity on tomato seedling growth. *Sci. Hortic., 27, 199-208.*
- [18]. HEISKANEN J., 1995. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings. *New Forests 9, 181-195.*
- [19]. HERRERA F., CASTILLO J.E., CHICA A.F., LOPEZ BELLIDO L., 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresour. Technol., 99, 287-296.*
- [20]. KRATKY B.A., MISHIMA H.Y., 1981. Lettuce seedling and yield response to preplant and foliar fertilization during transplant production. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 106 (1), 3-7.*
- [21]. LAMHAMEDI M.S., ANDRE FORTIN J., AMMARI Y., BEN JELLOUN S., POIRIER M., FECTEAU B., BOUGACHA A., GODIN L., 1997. Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants élevés en conteneurs. *Éd. Direction Générale des Forêts et PAMPEV Internationale Ltée, Canada, Projet BIRD N° 3601, Tunisie, 121 p.*
- [22]. LAMHAMEDI M.S., LAMBANY G., MARGOLIS H.A., RENAUD M., VEILLEUX L., BERNIER P.Y., 2001. Growth, physiology, and leachate losses in *Picea aglauca* seedlings (1+0) grown in air-slit containers under different irrigation regimes. *Can. J. For. Res., 31, 1968-1980.*
- [23]. LAMHAMEDI M.S., FECTEAU B., GODIN L., GINGRAS C., 2006. Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. *PAMPEV Internationale Ltée, Canada et Direction Générale des Forêts, Tunisie, 114 p.*
- [24]. LANDIS T.D., TINUS R.W., MC DONALD S.E., BARNETT J.P., 1990. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4: Seedling nutrition and irrigation. *Agriculture Handbook Series, 674. Washington, DC, États-Unis, US Department of Agriculture, Forest Service, 119 p.*
- [25]. LARBI M., 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. *Thèse de Doctorat, Forschungs institut für Biologischen Landbau (FiBL), Fribourg, Université de Neuchâtel, Suisse, 161 p.*
- [26]. MATKIN O.A., CHANDLER P.A., 1957. The U.S. type soil mixes. In: Baker KF (Ed.). *The U.C. system for producing healthy container grown plants. Pennsylvania State. University Press, University Park, 68-85.*
- [27]. MICHEL J.Ch., sd. Les propriétés physiques des tourbes : Une qualité majeure à leur utilisation comme support de culture. *Sciences Agronomiques Appliquées à l'Horticulture (SAGAH), INRA-INH, Université d'Angers, France, 7 p.*
- [28]. MORARD P., 1995. Les cultures végétales hors sol. *Édition 2-9509297, Publications Agricoles, 304 p.*
- [29]. M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., TAYACHI L., 2011. Possibilités d'incorporation du méthacompost avicole dans la confection des substrats de culture à base de compost sylvicole en pépinière forestière. *Revue Nature & Technologie, N° 6, 59-70.*
- [30]. M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., 2013a. Caractérisation qualitative du digestat solide de la Biométhanisation industrielle des fientes avicoles et alternative de son exploitation agronomique hors sol. *Revue des Energies Renouvelables, Vol. 16, N°1, 33-42.*

- [31]. M'SADAK Y., HAMDI W., ZAALANI Ch., 2013b. Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie). *Revue Agriculture Sétif (RAS)*, N°6, 29-34.
- [32]. M'SADAK Y., ELOUAER M.A., DHAHRI M., 2013c. Production et croissance des plants de Gombo (*Abelmoschus esculentus*) sur substrats de culture issus d'un mélange de Tourbe et de Compost dans une pépinière maraîchère hors sol en Tunisie. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, Vol. 1, N°2, 5-11.
- [33]. M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., 2014. Caractérisation physico-hydrigue des substrats de culture à base de méthacompost avicole pour une meilleure valorisation. *LARHYSS Journal*, N°20, 167-187.
- [34]. M'SADAK Y., EL AMRI A., MAJDOUB R., BEN ALI M., 2014. Caractérisations physique et hydrique des substrats de culture des plants forestiers en conteneurs. *LARHYSS Journal*, ISSN 1112-3680, N°17, Mars 2014, 7-2.
- [35]. M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., 2015. Valorization agricultural of a solid digestate avicolous resulting from the industrial Biomethanisation in Tunisia. *J. Fundam. Appl. Sci. (JFAS)*, Vol. 7, N°3, 298-321.
- [36]. M'SADAK Y., BOUALLEGUE A., 2015. Study of opportunities of use of composts cunicoles for the aboveground production of tomato plants in Tunisia. *J. Fundam. Appl. Sci. (JFAS)*, Vol. 7, N°2, 244-259.
- [37]. M'SADAK Y., FHIMA F., 2015. Potentialités de substitution de la tourbe importée par un substrat à base de compost ou Co-compost en pépinière maraîchère hors sol (Tunisie). *Revue Agriculture Sétif (RAS)*, N°10, 31-37.
- [38]. M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., 2016. Characterization qualitative and potentialities of utilization of methacomposts of poultry in the nurseries aboveground. *J. Fundam. Appl. Sci. (JFAS)*, Vol. 8, N°3, 875-893.
- [39]. MUSTIN M., 1987. Le compost : Gestion de la matière organique. Éd. François Dubusc, Paris, France, 954 p.
- [40]. NZENGUE E., MIDOKO IPONGA D., M'SADAK Y., ASSONG OWONA G.S., ZINGA-KOUMBA C.R., ASSANI S., M'BATCHI B., MAVOUNGOU J.F., 2016. Production des plants de Tomate (*Lycopersicum esculentus*) sur substrats de culture à base de parche de café à différents gradients de désinfection dans une pépinière maraîchère hors sol au Gabon. *International Journal of Innovation and Scientific Research (IJISR)*, Vol. 26, N°1, 83-94.
- [41]. PRYCE S., 1991. Alternative to peat. *Professional Horticulture*, 5, 101-106.
- [42]. RAVIV M., CHEN Y., INBAR Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-growth plants, In: Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.). The role of the organic matter in modern agriculture. *Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands*, 257-287.
- [43]. RIBEIRO H.M., ROMERO A.M., PEREIRA H., BORGES P., CABRAL F., VASCONCELOS E., 2007. Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production. *Bioresour. Technol.*, 98, 3294-3297.
- [44]. SANCHEZ-MONEDERO M., ROIG A., CEGARRA J., BERNAL M. P., NOGUERA P., ABAD M., ANTON A., 2004. Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost Science & Utilization*, 12 (2): 161-168.
- [45]. SIMINS H.I., MANIOS V.L., 1990. Mixing peat with MSW compost. *Biocycle* 31: 60-61.
- [46]. TAMBONE F., GENEVINI P., D'IMPORZANO G., ADANI F., 2009. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresour. Technol.*, 100, 3140-3142.
- [47]. VALLEE C., BILODEAU G., 1999. Les techniques de culture en multicellules. Ouvrage réalisé sous la responsabilité du CEGEP Régional de Lanaudière à Joliette. *Institut Québécois du Développement de l'Horticulture Ornementale (IGDHO)*, 70 p.
- [48]. VERDOCK O., 1998. Compost from organic waste materials as substitutes for the usual horticultural substrates. *Boil. Wastes*, 26, 325-350.