

ÉVALUATIONS PHYSICO-CHIMIQUE ET AGRONOMIQUE DES SUBSTRATS ISSUS DE TOURBE EN MÉLANGE AVEC COMPOST POUR LA PRODUCTION DES PLANTS DE GOMBO (*Abelmoschus esculentus L.*)

M'SADAK Y. ⁽¹⁾ et BEMBLI H. ⁽¹⁾

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

Résumé : Le présent travail se propose une tentative d'optimisation du Compost Sylvicole Criblé (CSC), produit au niveau de la pépinière forestière hors sol de Chott Mariem (Sousse, Tunisie), en variant son ratio de mélange avec la Tourbe, en vue de mettre au point un substrat adéquat pour la production hors sol des plants de Gombo. Les substrats élaborés ont subi une caractérisation directe (Masse volumique apparente, Porosité, pH, Conductivité électrique et Matière organique totale) et une caractérisation morphologique indirecte basée sur des évaluations de germination et de croissance en hauteur des plants produits. Les substrats SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) et SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) dévoilent une concordance des paramètres physico-chimiques, ainsi que des paramètres de germination et de croissance des plants de Gombo (taux moyen de germination supérieur à 96% sur SB1, hauteur moyenne de la partie aérienne dépassant 10 cm sur SD1). Dans l'ensemble, il convient de retenir une incorporation du CSC (âgé de six mois), à raison de 20 à 40%.

Mots clés : Caractérisation directe, Caractérisation morphologique, Compost sylvicole, Mélange, Plants de Gombo, Tourbe.

PHYSICO-CHEMICAL AND AGRONOMIC EVALUATIONS OF SUBSTRATES BASED ON PEAT MIXED WITH COMPOST FOR THE PRODUCTION OF GOMBO PLANTS *Abelmoschus esculentus L.*

Abstract: The present work proposes an optimization of the screened Forestry Compost (CSC), produced at the nursery forest aboveground Chott Mariam (Sousse, Tunisia), by varying its mixing ratio with peat, in order to the point of a suitable substrate for the above-ground producing of Gombo plants. The elaborate substrates were directly characterized (bulk density, porosity, pH, electrical conductivity and total organic matter) and indirect morphological characterization based on germination and height growth estimates of the plants produced. The substrates SB1 (80% Peat + 20% CSC) and SD1 (60% Peat + 40% CSC) reveal a concordance of the physicochemical parameters as well as the parameters of germination and plant growth of Gombo (average germination rate exceeding 96% on SB1, average height of the aerial part exceeding 10 cm on SD1). Overall, a CSC (aged of six months) should be incorporated at a rate of 20-40%.

Keywords: Direct characterization, Forestry Compost, Gombo plants, Mixing, Morphological characterization, Peat.

Introduction

La production des plants de qualité constitue un gage de réussite pour leur repiquage [1]. Elle réclame la mise en place d'espace spécialisé, telle que la pépinière, qui constitue le lieu préconisé pour produire des plantules vigoureuses et

de meilleure qualité [2, 3]. La tourbe constitue le substrat par excellence pour la production des plants en pépinière maraîchère hors sol [4, 5, 6]. Néanmoins, malgré l'importance de la réserve mondiale en tourbe, son extraction est de plus en plus réduite, d'autant plus que sa formation est très lente, de 0,6 à 1,2 mm par an [7]. En effet, la surutilisation de la tourbe

réduit les réserves en ressources naturelles et participe dans la détérioration de l'environnement [8, 9, 10, 11]. Face à ce constat, quelques orientations méritent d'être discutées. A cet égard, il serait intéressant d'inciter à l'emploi des produits de substitution relative, qui sans perdre les avantages de la tourbe, permettent d'en limiter les quantités employées, réduisant ainsi les importations, et par conséquent, l'hémorragie des devises [12]. Ainsi, les recherches récentes se sont orientées vers l'adaptation de nouvelles techniques et processus. Parmi eux, on peut citer le compostage qui permet la décomposition biologique et la stabilisation des substrats organiques [13, 14], en constituant ainsi un mode de gestion des ressources organiques plus respectueux de l'environnement, tout en favorisant des pratiques agricoles écologiques, et surtout comme un moyen important de la fertilisation en agriculture durable et en pépinières horticoles [15]. Par ailleurs, d'autres travaux ont dévoilé des gains de croissance susceptibles d'être obtenus en pépinières maraîchères par optimisation physico-chimique du substrat et de la fertilisation [16, 5, 6, 17]. L'utilisation des résidus sylvicoles compostés (Broyat de branches d'Acacia) comme base de substrat en mélange avec d'autres substrats de culture (Tourbe, Méthacompost, ...) pour la production des

plants maraîchers s'avère encourageante et performante en termes de richesse globale en éléments minéraux [18]. Pour cela, plusieurs substrats à base de compost ont été évalués d'une façon directe, en se basant sur leurs propriétés physico-chimiques et indirectement, par le suivi des paramètres morphologiques de culture (germination des semences, hauteur des plants, ...), dans le but de mettre au point un substrat de croissance adéquat. L'optimisation des techniques culturales en pépinières (irrigation, fertilisation, traitements phytosanitaires, ...) peut assurer une production de plants de qualité, lorsque les propriétés physico-chimiques du substrat de culture sont convenables. Cette étude, basée sur une évaluation directe (Caractérisation physico-chimique) et indirecte (Comportement agronomique), admettrait d'apporter des corrections, en vue d'obtenir un substrat de culture ayant les exigences physiques, chimiques et agronomiques prétendues pour la production des plants de Gombo (*Abelmoschus esculentus*), en faisant appel à une substitution partielle de la Tourbe avec du Compost Sylvicole Criblé (CSC) mature. Plusieurs espèces maraîchères ont été auparavant expérimentées sur mélange Tourbe + Compost Sylvicole, à savoir : le Gombo [4], la Pastèque [6] et la Tomate [5, 6].

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

La réponse du végétal à différents substrats a été étudiée, en ayant recours à l'espèce maraîchère *Abelmoschus esculentus* : Gombo (ordre des malvales, famille des malvaceae), variété Marsaouia. Le semis a

été réalisé manuellement, à raison d'une graine par alvéole.

1.2. Substrats de croissance mis à l'essai

Le choix du substrat dans la production maraîchère hors sol est très important, c'est pourquoi d'autres matières y sont

généralement ajoutées en mélange à titre de substitution (Compost sylvicole, ...).

1.2.1. Substrats purs

* **Tourbe brune** : Cette ressource organique importée, produite par la Compagnie Klasmann-Deilmann en Allemagne, est considérée comme le substrat de référence pour la production hors sol des plants. Elle sera ainsi utilisée comme substrat Témoin.

* **Compost sylvicole** : Le compost utilisé lors de cette recherche 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 l'aide de deux broyeurs simples différents, respectivement, à couteaux et à

mardeaux. Après broyage, le rebroyat est mis en andains. Chaque andain subit deux à trois retournements manuels (en assurant simultanément son arrosage) au cours du compostage, avant d'arriver à maturité complète (au moins à 6 mois). Afin d'accélérer le processus de compostage, du nitrate d'ammonium a été ajouté, en deux apports (chacun de 1 kg/m³), l'un, lors de la confection des andains, et l'autre, lors du retournement des andains.

1.2.2. Substrats en mélange

A partir des deux substrats purs cités précédemment (tourbe et CSC dénommé C1), quatre mélanges ont été élaborés, tout en substituant partiellement la tourbe par le CSC (Âgé de plus de 9 mois). Différentes combinaisons de la tourbe et du CSC ont été utilisées. Au total, il s'agit de cinq substrats mis à l'essai. Les composants de base ainsi que la nature et la composition des substrats adoptés sont illustrés dans le tableau 1.

Tableau 1. Identification et composition des substrats de culture testés

Mélanges Tourbe + C1		
Substrat	% Tourbe	% C1
SA1	100	00
SB1	80	20
SC1	70	30
SD1	60	40
SE1	50	50

1.3. Évaluation des principales propriétés physico-chimiques

Pour garantir une production de plants de qualité, les propriétés physiques du compost utilisé comme composant du substrat de culture devront être

satisfaisantes [19, 20, 21], 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 vigoureux [22, 17].

En général, le substrat de croissance doit avoir surtout une porosité convenable, au moment du semis, issue de l'ajustement granulométrique notamment par criblage. Sa stabilité et sa richesse en éléments nutritifs sont également recherchés ultérieurement [21].

Les principales propriétés physiques et chimiques que devrait posséder un substrat de culture sont identifiées ci-après et une brève description de chacune d'elles est présentée.

1.3.1. Comportement physique

1.3.1.1. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente (mva) est la masse de l'unité du volume total du matériau après qu'il a été manipulé. Elle se situe entre 0,47 et 0,71 g/cm³ pour un matériau donné [23]. Elle consiste à mettre les échantillons dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures pour déterminer la masse sèche [24]. Elle est déterminée en appliquant la formule suivante :

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

Avec :

MS : masse sèche de l'échantillon (g) ; MC : masse de la capsule vide (g); et V : volume de la capsule (100 cc).

1.3.1.2. Porosité

La porosité ou l'espace poral correspond à l'évaluation des espaces vides par rapport à l'encombrement total d'un substrat [25, 26]. Le test standard de porosité permet d'estimer les trois porosités ci-après et de renseigner ainsi sur le comportement physique des substrats de culture.

Les formules utilisées pour calculer les trois porosités sont présentées ci-après [27].

(1) $Pt \text{ (\%)} = (\text{volume versé} / \text{volume total}) \times 100$

(2) $Pa \text{ (\%)} = (\text{volume récupéré} / \text{volume total}) \times 100$

(3) $Pr \text{ (\%)} = Pt \text{ (\%)} - Pa \text{ (\%)}$

Avec :

Pt : porosité totale ; Pa : porosité d'aération ; et Pr : porosité de rétention

Les normes de porosité retenues dans le Contexte Tunisien ont été inspirées des Normes Canadiennes [28], en favorisant la rétention (limite supérieure) sur l'aération (limite inférieure), compte tenu du climat sec de la Tunisie. A ce propos, les proportions de porosité appliquées, comme base pour la comparaison entre substrats, sont les suivantes : $Pt \geq 50\%$, $Pa \geq 20\%$ et $Pr \geq 30\%$.

1.3.2. Comportement chimique

1.3.2.1. 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 [29, 30]. L'optimum est d'environ 5,5 pour les supports organiques et 6,5 pour les supports minéraux [31].

La lecture du pH se fait moyennant un pH-mètre [32].

1.3.2.2. Conductivité électrique

La mesure de la Conductivité Electrique (CE) est une mesure de la capacité d'une solution à laisser passer le courant électrique à une température donnée, généralement 25 °C [33]. La CE est directement liée à la Salinité (S), donc à une phytotoxicité [34].

La CE et la S sont fortement corrélées et il existe une simple formule mathématique pour passer de l'une à l'autre. La formule est la suivante :

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

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

$$MO (\%) = (M2 - M1) \times 100 / M2 \quad [35]$$

Avec :

M1 : masse avant calcination (g) ; M2 : masse après calcination (g).

A partir de la MO, une déduction de la teneur en carbone est facile, tout en appliquant la relation suivante :

$$C (\%) = MO / 1,72 \quad [36]$$

1.4. Évaluation indirecte des substrats de culture

1.4.1. Méthodologie d'évaluation et dispositif expérimental mis en place

Il s'agit d'étudier l'incidence de la composition des substrats confectionnés

sur la croissance et le développement des plants de Gombo. 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 des semences d'une espèce maraîchère : Gombo (*Abelmoschus esculentus*).

Le dispositif expérimental sélectionné lors de cet essai est le dispositif Blocs Aléatoires Complètes (BAC) avec un seul facteur étudié (substrat de culture) et un seul facteur contrôlé (3 blocs). La disposition des substrats est présentée sur la Figure 1 ci-après.

Bloc 1	SA1	SD1	SE1	SB1	SC1
Bloc 2	SE1	SC1	SA1	SD1	SB1
Bloc 3	SD1	SB1	SC1	SA1	SE1

SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% C1 ;
 SC1 : 70% Tourbe + 30% C1 ; SD1 : 60% Tourbe + 40% C1 ;
 SE1 : 50% Tourbe + 50% C1.

Figure 1. Dispositif expérimental adopté

1.4.2. Paramètres d'évaluation indirecte

Au cours de ce travail, l'évaluation indirecte est appuyée surtout, d'une part, sur la détermination du pourcentage de germination de semences de Gombo 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.

1.4.2.1. Suivi de la germination des semences

Au niveau de chaque bloc, le % des plants levés est calculé par rapport au nombre de graines de départ (26 alvéoles ou graines/bloc). Le pourcentage de

germination correspond à la moyenne de trois blocs.

1.4.2.2. Suivi de la croissance des plants en hauteur

Plusieurs paramètres peuvent être utilisés notamment : paramètres morphologiques et 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 basée 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 de quatre jours, en ayant recours à des mesures, depuis le collet jusqu'au bourgeon apical. 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 Gombo/Suivi.

Les données obtenues pour chaque paramètre étudié (germination, croissance 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 types 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.

1.4.2.3. 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 des courbes linéaires. L'établissement des courbes de croissance a été accompli 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 :

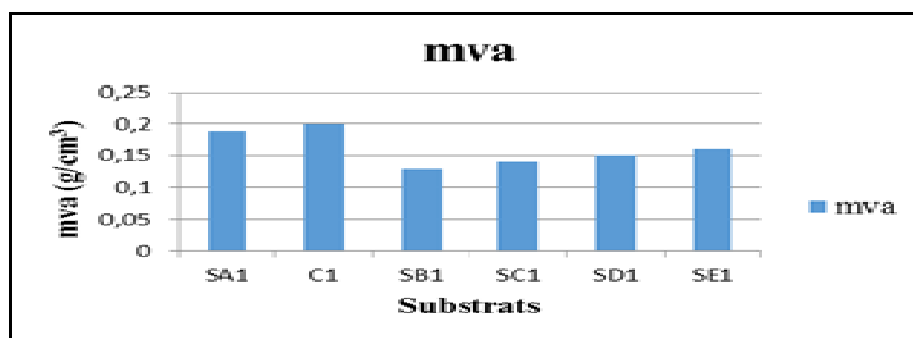
$$Y = A x + B \text{ (Eq. 1)}$$

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

1. Résultats et discussion

2.1. Appréciation de la qualité physique des substrats

2.1.1. Évaluation de la masse volumique apparente



SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% C1 ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% C1 ; SD1 : 60% Tourbe + 40% C1 ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% C1.

Figure 2. Masse volumique apparente (mva) de différents substrats testés

Clauzel [37] 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. [38], la masse volumique apparente augmente la résistance mécanique du substrat.

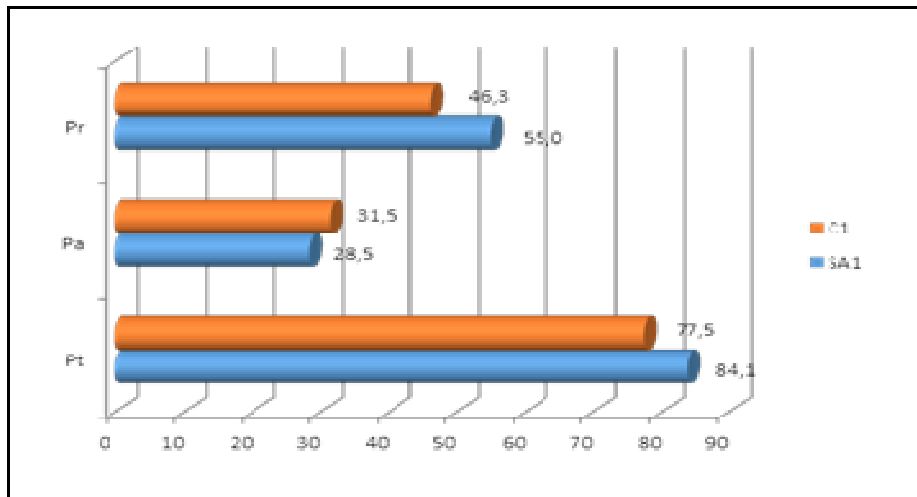
D'après FAC [39], pour le cas d'un compost destiné à être exploité en horticulture, la masse volumique apparente doit être comprise entre 0,434 et 0,836 g/cm³. Selon Kerkeni [40], les valeurs élevées de cette grandeur physique sont en relation avec la maturité. Elle augmente avec la maturité du compost.

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 SB1 possède la masse volumique apparente la plus faible favorable pour pallier les problèmes d'ancrage des racines (Figure 2). Aussi, d'après la figure 2, on constate que la La Figure 3 illustre les valeurs de porosité obtenues pour les deux substrats purs considérés.

masse volumique apparente des substrats testés change avec la variation de la proportion du Compost.

Partant d'une mva se plaçant entre 0,434 et 0,836 g/cm³ comme annoncé précédemment par FAC [39] et /ou entre 0,47 et 0,71 g/cm³ pour un matériau donné [23], on peut dire que les résultats relevés ne sont pas conformes avec la fourchette admissible donnée fixant la limite inférieure (Substrats légers) et la limite supérieure (Substrats lourds). Globalement, il s'agit des substrats légers avec des mva variant de 0,13 à 0,16 g/cm³, et par conséquent, ces substrats ne posent pas de contraintes majeures quant à leur emploi pour l'élevage des plants maraîchers (Gombo) dans des plaques alvéolées.

2.1.2. Évaluation de la porosité des substrats à partir du test standard



* SA1 : Tourbe (Témoin) ** C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de plus de 9 mois)

Figure 3. Porosités totale (Pt), d'aération (Pa) et de rétention (Pr) de divers substrats purs testés (%)

Le comportement physique est généralement apprécié par trois critères, à savoir : porosité totale, d'aération et de rétention, qui sont dépendants les uns des autres. Il ne faut pas négliger que ces critères sont modifiés en cours de culture, d'abord par la colonisation des racines, puis par une modification des propriétés structurales au cours du temps [41].

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 [42].

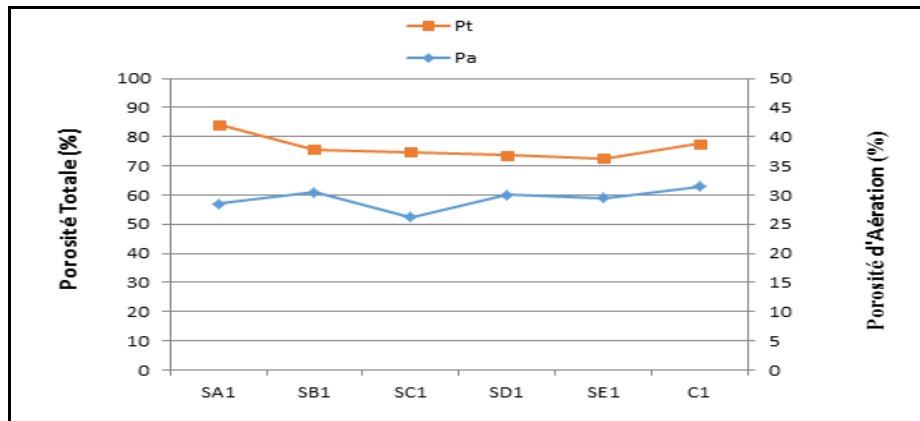
Un bon substrat de culture possède un ordre de grandeur de la porosité totale de 80 à 90% pour la tourbe brune [36].

La porosité totale peut être influencée par la variabilité dimensionnelle dominante des particules, les propriétés physiques et chimiques et la nature du mélange [14].

La tourbe et le compost C1 répondent tous aux normes pour la porosité totale ($Pt \geq$

50%) avec Pt relevée en faveur de la tourbe. Pour la porosité d'aération, le compost C1 présente une valeur plus importante (31,5%) par rapport à celle de la tourbe. Concernant la Pr, la tourbe montre une Pr élevée par rapport au C1. Les particules fines de la tourbe permettent de stocker plus d'eau dans les micropores et peuvent avoir une disponibilité en eau (Pr) élevée, et par conséquent, la tourbe est généralement considérée comme substrat rétenteur.

Pour le cas des mélanges tourbe avec C1, les quatre mélanges testés répondent aux normes pour la Pt (Figure 4). Les substrats SB1, SD1 et SE1 présentent une Pa importante, et par conséquent, ils peuvent être considérés évidemment comme substrats aérateurs.



SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% CI ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% CI ; SD1 : 60% Tourbe + 40% CI ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% CI

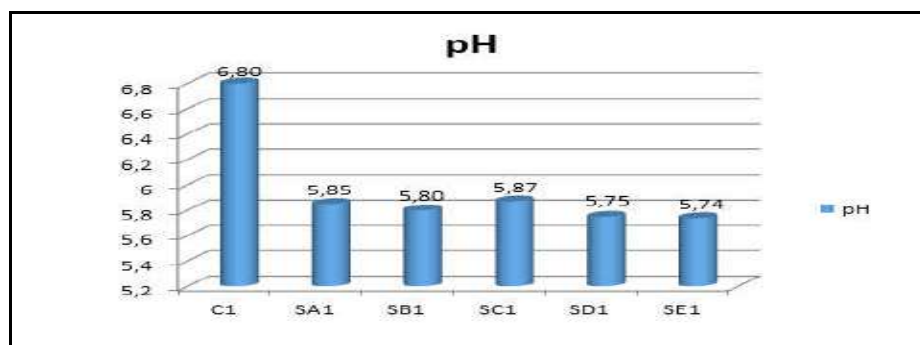
Figure 4. Variation de la porosité totale (Pt) et de la porosité d'aération (Pa) des substrats élaborés

2.2. Appréciation de la qualité chimique des substrats

2.2.1. 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 [42] ou entre 7 et 9 [43]. La Figure 5 relate les résultats

obtenus 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 5,74 et 5,87, à l'exception du résultat relevé pour le compost C1, ayant un pH proche de la neutralité (6,80) (critère recherché pour un bon substrat de culture).



SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% CI ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% CI ; SD1 : 60% Tourbe + 40% CI ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% CI.

Figure 5. Variation du pH des différents substrats étudiés

Cependant, les travaux de Landis et al. [44] et Lamhamedi et al. [45] ont dévoilé que le pH relativement neutre du compost mature à base d'Acacia, combiné à la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation (entre autres, salinité excessive), pouvait affecter négativement la disponibilité des éléments nutritifs dans la rhizosphère des plants.

La composition variée des substrats a un effet 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, quasiment pour tous les substrats étudiés.

Sanchez-Monedero et al. [46] 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 repiqués [47, 48].

Soumaré et al. [49] ont rapporté que les substrats de culture devraient avoir une faible CE inférieure à 3 mS/cm. Au-delà de cette valeur, 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 [50]. La salinité peut également se développer à partir de la minéralisation d'azote et de la production d'acides organiques [51]. Pour un compost, selon Fuchs et al. [52], la CE ne doit pas dépasser 4 mS/cm. La salinité excessive du compost peut être à l'origine de sa phytotoxicité [51].

Tableau 2 : Conductivité électrique et salinité des différents substrats étudiés

Substrats	CE (mS/cm)	S (g/l)
C1	2,44	1,70
SA1	1,24	0,86
SB1	1,62	1,13
SC1	1,32	0,92
SD1	1,51	1,05
SE1	2,32	1,62

SA1 : Tourbe ; *SB1* : 80% Tourbe + 20% C1 ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% C1 ; *SD1* : 60% Tourbe + 40% C1 ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% C1.

2.2.2. Évaluation de la fraction organique et du carbone organique total

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 Ben M'Barek [12], 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%.

Selon l'analyse chimique mise en œuvre (Tableau 3), une différence notable est enregistrée entre les cinq substrats considérés, concernant leur teneur en MO (%). À l'exception du substrat SE1 qui se

détache de l'ensemble des substrats, en présentant la teneur en MO la plus importante (92,2%) dépassant même celle de la Tourbe.

La teneur en MO est un des premiers critères sur lesquels on se base pour juger de la compostabilité d'un substrat donné. L'activité microbienne est notable, suite à une diminution de la teneur en MO dans le substrat. Mustin [13] discerne que dans le cas des composts, la teneur en MO dépend essentiellement de son degré de maturité. Selon Mustin [13], la matière organique contient 58% de carbone organique total. Les substrats élaborés sont riches en COT avec une moyenne de 49,3%.

Tableau 3 : Fraction organique des différents substrats étudiés

Substrats	MO (%)	COT (%)
SA1	88,2	50,69
C1	80,6	47,44
SB1	87,2	53,60
SC1	81,6	51,97
SD1	85,2	47,32
SE1	92,2	43,72

SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% C1 ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% C1 ; SD1 : 60% Tourbe + 40% C1 ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% C1.

Selon l'analyse chimique mise en œuvre (Tableau 3), une différence notable est enregistrée entre les cinq substrats considérés, concernant leur teneur en MO (%). À l'exception du substrat SE1 qui se détache de l'ensemble des substrats, en présentant la teneur en MO la plus importante (92,2%) dépassant même celle de la Tourbe.

La teneur en MO est un des premiers critères sur lesquels on se base pour juger de la compostabilité d'un substrat donné. L'activité microbienne est notable, suite à

une diminution de la teneur en MO dans le substrat. Mustin [13] discerne que dans le cas des composts, la teneur en MO dépend essentiellement de son degré de maturité. Selon Mustin [13], la matière organique contient 58% de carbone organique total. Les substrats élaborés sont riches en COT avec une moyenne de 49,3%.

2.3. Évolution de la germination des graines semées de gombo

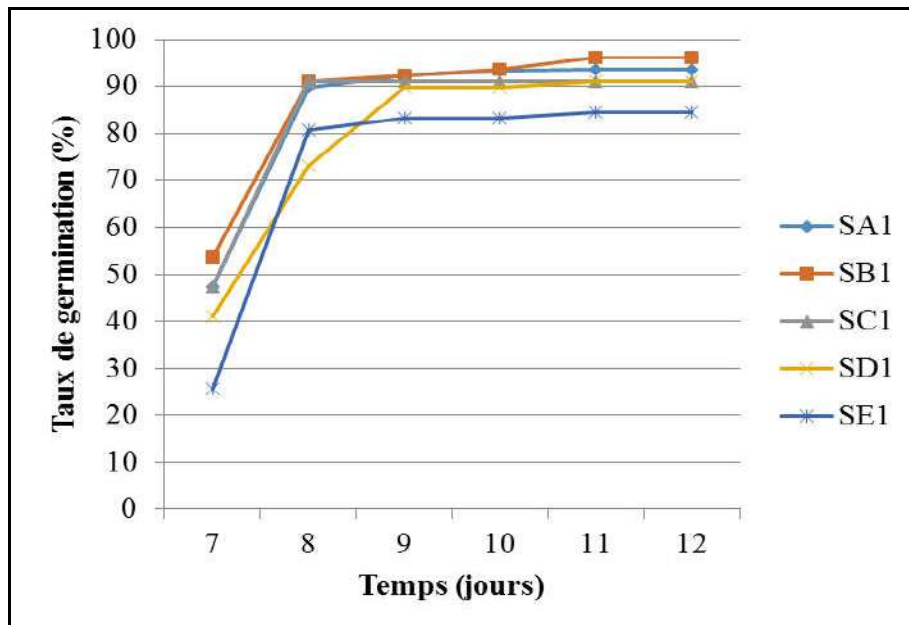
La Figure 6 montre l'évolution du taux cumulé de germination des semences de

Gombo installées sur la Tourbe (témoin) et sur les mélanges (T + C1).

L'incorporation partielle du CSC dans la confection des substrats de culture à base de tourbe, peut avoir une incidence sur le taux de germination des semences de Gombo. Le pourcentage de germination des semences de Gombo sur les différents substrats peut constituer un critère d'évaluation agronomique, surtout que les substrats utilisés présentent des pourcentages différents. En effet, le substrat SB1 est le meilleur mélange avec un taux de germination de l'ordre de 96,2% pour le dernier suivi, dépassant même celui de la tourbe. Cette excellente

germination indique que le compost ne contient pas de substances phénoliques qui peuvent entraver la germination des plants [53, 54], ce qui permet d'affirmer que le compost sylvicole est prêt à être utilisé pour produire des plants.

Le substrat SE1 présente le taux de germination le plus faible de l'ordre de 25,6% pour le premier suivi pour atteindre un taux de l'ordre de 84,6% pour le dernier suivi. Ce retard pourrait être expliqué par une maturité inachevée du CSC et l'existence conséquente de certaines substances phytotoxiques intervenant dans l'inhibition de la germination des semences de Gombo.



SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% C1 ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% C1 ; SD1 : 60% Tourbe + 40% C1 ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% C1.

Figure 6. Pourcentages cumulés moyens de germination des semences de Gombo

Le tableau 4 résume, pour chaque substrat considéré, le taux cumulé de germination des semences installées avec la signification statistique correspondante. L'analyse statistique du premier suivi du

taux cumulé de germination, a révélé qu'il existe une différence, certes significative, entre les cinq substrats de culture testés. Pour les autres suivis, la différence n'était pas significative.

Tableau 4 : Analyse statistique du taux cumulé de germination (%) des semences de Gombo

Suivi	SA1	SB1	SC1	SD1	SE1
1	47,34 ^{b*}	53,84 ^b	47,43 ^b	41,02 ^{ab**}	25,63 ^a
2	89,73 ^a	91,02 ^a	91,02 ^a	85,89 ^a	80,76 ^a
3	92,02 ^a	92,30 ^a	91,02 ^a	89,73 ^a	87,17 ^a
4	92,02 ^a	92,30 ^a	91,02 ^a	89,73 ^a	87,17 ^a
5	93,58 ^a	92,30 ^a	91,02 ^a	91,02 ^a	88,45 ^a
6	93,58 ^a	96,20 ^a	91,02 ^a	91,02 ^a	88,45 ^a

SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% C1 ;

SC1 : 70% Tourbe + 30% C1 ; SD1 : 60% Tourbe + 40% C1 ; SE1 : 50% Tourbe + 50% C1.

(*) 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.

2.4. Évolution de la croissance en hauteur des plants de Gombo

La hauteur constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont étroitement corrélées avec la surface foliaire [55].

La Figure 7 illustre l'évolution de la hauteur moyenne des plants de Gombo sur les différents substrats de croissance, mesurée à six intervalles réguliers. On constate que les plants cultivés sur le substrat SB1 s'allongent moins que les plants cultivés sur le substrat SD1. Par contre, ils présentent une légère différence par rapport aux plants cultivés sur les substrats SC1 et SE1.

L'évolution de la hauteur des plants de Gombo en fonction du nombre de jours après semis, montre que la réponse de ces plants vis-à-vis de divers substrats n'est pas la même. Les plants sont sensibles, dès les premiers stades de croissance à la nature et à la composition du substrat. Cette sensibilité est généralement en

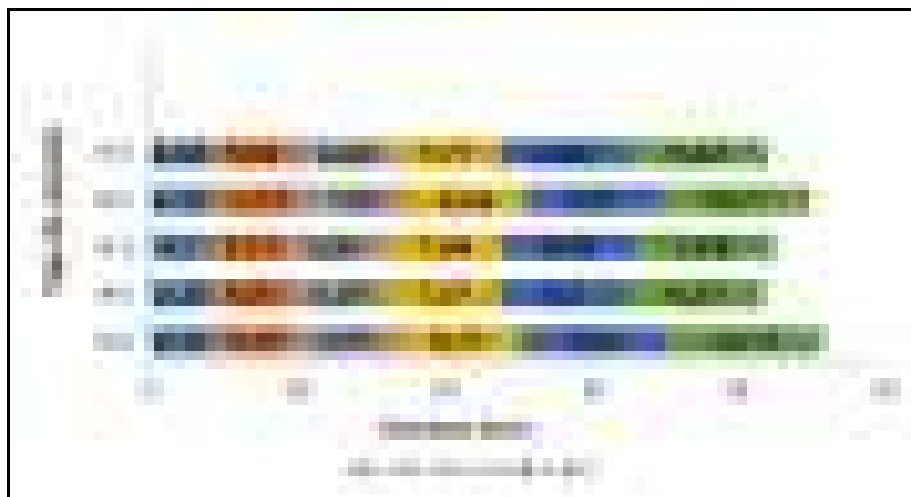
rapport avec les propriétés physico-chimiques de chaque substrat, notamment sa qualité physique [56].

Pour les mesures de la croissance en hauteur des plants de Gombo, le tableau 5 illustre, pour chaque substrat considéré, la moyenne de la hauteur relevée, tout en précisant la signification statistique concordante.

L'analyse de ce tableau permet de faire ressortir les constatations suivantes :

* Aucune différence significative n'a été observée entre les cinq substrats de culture testés pour les mesures 1, 3 et 4 concernant la hauteur de la partie aérienne.

* Une différence, certes significative, mais très faible, entre les cinq substrats de culture testés pour les mesures 2, 5 et 6 du point de vue de la hauteur de la partie aérienne.



SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% CI ;
 SC1 : 70% Tourbe + 30% CI ; SD1 : 60% Tourbe + 40% CI ;
 SE1 : 50% Tourbe + 50% CI.
 Suivis de croissance en hauteur numérotés de 1 à 6.

Figure 7. Évolution de la croissance moyenne en hauteur des plants de Gombo

Tableau 5 : Analyse statistique de la hauteur cumulée des plants de Gombo

Substrats	Hauteur moyenne de la partie aérienne (cm)					
	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Mesure 6
SA1	4,37 ^{a*}	5,95 ^{ab**}	6,93 ^a	8,37 ^a	9,86 ^b	10,71 ^b
SB1	4,23 ^a	5,57 ^a	6,58 ^a	7,67 ^a	8,70 ^a	9,39 ^a
SC1	4,09 ^a	5,43 ^a	6,81 ^a	7,84 ^a	8,88 ^{ab}	9,58 ^{ab}
SD1	4,33 ^a	6,23 ^b	7,01 ^a	8,05 ^a	9,97 ^b	10,17 ^{ab}
SE1	4,06 ^a	5,83 ^b	6,68 ^a	7,67 ^a	8,88 ^{ab}	9,42 ^a

SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% CI ; SC1 : 70% Tourbe + 30% CI ; SD1 : 60% Tourbe + 40% CI ;
 SE1 : 50% Tourbe + 50% CI.

(*) 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.

2.5. Résultats de l'ajustement linéaire appliqué

Les paramètres d'ajustement de la croissance en hauteur des plants de Gombo installés sur les substrats testés sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Analyse statistique de la hauteur cumulée des plants de Gombo

Substrat	R ²	X	Y
SA1	0,998	- 1,374	0,439
SB1	0,995	- 0,148	0,347
SC1	0,993	- 0,615	0,375
SD1	0,992	- 0,096	0,369
SE1	0,985	- 0,130	0,348

SA1 : Tourbe ; SB1 : 80% Tourbe + 20% CI ;

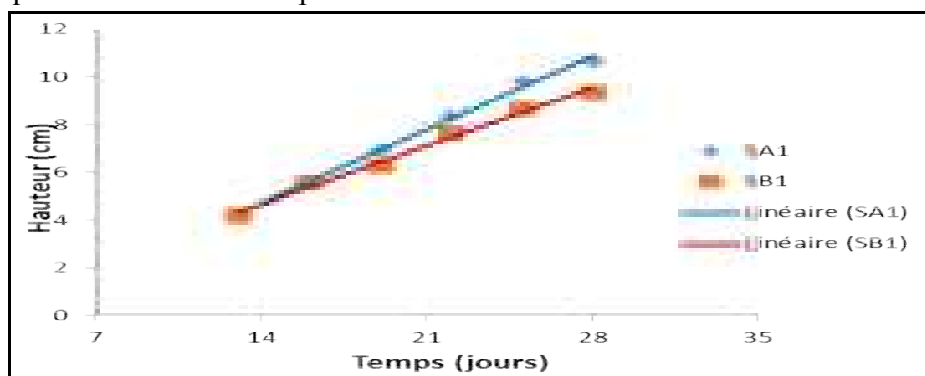
SC1 : 70% Tourbe + 30% CI ; SD1 : 60% Tourbe + 40% CI ;

SE1 : 50% Tourbe + 50% CI.

La qualité de l'ajustement est meilleure dans le cas des plants installés sur le substrat témoin SA1 (R² le plus élevé) et sur le substrat adéquat SB1 ayant pour courbe d'ajustement celle présentée par la Figure 8, en comparaison avec celle relative à la Tourbe (SA1).

Certains travaux ont montré que le compost sylvicole a donné d'excellents résultats en matière de fabrication de substrats pour produire des plants, entre autres, en pépinières forestières et horticoles [57, 58]. En outre, selon Ammari et al. [59] des substrats à base de compost sylvicole ont dévoilé des caractéristiques morphologiques et physiologiques satisfaisantes pour les

plants cultivés. A titre indicatif, des études ont été réalisées en Tunisie, visant 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). Il convient de rappeler que les espèces maraîchères testées sur mélange Tourbe + Compost Sylvicole sont variées. Citons : le Gombo [4], la Pastèque [6] et la Tomate [5, 6].



* SA : Tourbe (Témoin)

** SB1 : Mélange approprié (80% T + 20% CI)

Figure 8. Ajustement linéaire de la croissance moyenne des plants de Gombo sur la tourbe et sur le mélange approprié

Les résultats obtenus dans le contexte du travail entrepris constituent d'autres données introductives sur l'utilisation du Compost Sylvicole en culture hors sol pour la production des plants de Gombo. Aussi, la méthodologie utilisée pour la caractérisation morphologique des plants a touché la germination des semences de Gombo et la hauteur des plants, considérées parmi les variables de prédiction de la performance des semis en pépinière [60]. La hauteur constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont étroitement corrélées avec la surface foliaire [55]. Cette étude pourrait servir de base pour des études complémentaires sur l'utilisation partielle des substrats locaux dans la production d'autres plants maraîchers en hors sol. Ainsi, cette étude, bien que ponctuelle, permet d'envisager la possibilité d'une substitution partielle de la Tourbe (Témoin) par le CSC dont l'effet sur la germination et la croissance en hauteur est approximativement équivalente à celui du Témoin. Des investigations supplémentaires devraient être menées pour déterminer l'effet du Compost Sylvicole sur la croissance et le développement de plants de tomate et d'autres espèces maraîchères.

Conclusion

La présente étude, consacrée à une évaluation directe et indirecte des substrats de culture à base de mélange Tourbe avec CSC pour la production hors sol des plants de Gombo à travers des analyses physico-chimiques et le suivi des paramètres de germination et de croissance des plants cultivés sur divers substrats confectionnés,

a permis essentiellement de dégager que le substrat de référence (SA), qui n'est autre que la tourbe importée, a montré, pour les plants de Gombo, les paramètres de croissance les plus satisfaisants.

Concernant les substrats issus du mélange Tourbe avec Compost, les substrats SB1 (80% Tourbe + 20% CSC) et SD1 (60% Tourbe + 40% CSC) peuvent être considérés parmi les meilleurs, de point de vue paramètres physico-chimiques et paramètres végétatifs des plants. En tenant compte de l'ensemble des résultats relevés, il convient d'admettre que le compost sylvicole pourrait constituer partiellement un substrat alternatif à la Tourbe, à raison de 20 à 40 % pour la production des plants de Gombo.

En visant la recherche d'une réduction des importations de la tourbe, et par conséquent, d'une limitation de l'hémorragie des devises, la poursuite des investigations reste indispensable pour conduire des analyses physico-chimiques autant que possible complètes (notamment éléments minéraux NPK). L'expérimentation devrait être répétée pour valider les résultats acquis et continuer d'optimiser ce type d'incorporation avec la tourbe dans la confection des substrats, en vue d'étudier l'incidence sur la croissance et la physiologie d'un certain nombre des plants maraîchers.

Références Bibliographiques

1. Baiyeri K.P. Evaluation of nursery media for seedling emergence and early seedling growth of two tropical tree species. Moor J. Agric.Res. 4 (1), 2003, 60-65.
2. Wigthman K.E. Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière : directives

pratiques pour les pépinières communautaires. Manuel technique, n°2, 1999, 95 p.

3. M'Sadak Y., Elouaer M.A. et Dhahri M. Croissance comparée des plantes de gombo en culture de pleine terre selon les modes semis direct et repiquage. Algerian Journal of Arid Environment, vol. 2, n°2, 2012a, 62-70.

4. M'Sadak Y., Elouaer M.A. et Dhahri M. Production et croissance des plants de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) 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., 2, 2013a, 5-11.

5. M'Sadak Y. and Bouallegue A. Study of opportunities of use of composts cunicoles for the aboveground production of tomato plants in Tunisia. J. Fundam. Appl. Sci., vol. 7, n°2, 2015, 244-259.

6. M'Sadak Y. et Fhima F. 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, 2015, 31-37.

7. Morel J.L., Colin F., Germon J.C., Godin P. and Justes C. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse composting of agricultural and other wastes. In: J.K.R: Gasser (ed.), composting of agricultural and other wastes, Elsevier applied science publishers, London, 1985, 56-72.

8. Payette S. et Rochefort I. Écologie des tourbières du Québec- et ligne Labrador. Les presses de l'Université Laval, Québec, Canada, 2001, 621 p.

9. Van Den Akker J.J.H. Introduction to the special issue on degradation and green house gas emissions of agricultural

managed peat soils in Europe. Geoderma 154, 2010, 171-172.

10. Jeglum J.K. and Rydin H. The biology and peatlands. Oxford University Press, 2013, 432 p.

11. Campbell-Renaud E. L'exploitation des tourbières dans une perspective de développement durable. M. Env., Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 2014, 93 p.

12. M'Sadak Y. et Ben M'barek A. 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, 2013, 33-42.

13. Mustin M. Le compost : Gestion de la matière organique. Édition François Dubusc, Paris, France, 1987, 954 p.

14. Stofella P.J. and Kahn B.A. Compost utilization in horticultural cropping systems. New York: Lewis Publishers, 2001, 307-320.

15. Petit J. et Jobin P. La fertilisation organique des cultures. Québec : Fédération d'agriculture biologique du Québec, 2005, 52 p.

16. M'Sadak A. and Ben M'barek A. Valorization agricultural of a solid digestate avicolous resulting from the industrial Biomethanisation in Tunisia. J Fundam Appl Sci., vol. 7, n°3, 2015a, 298-321.

17. Nzengue E., MidokoIponga D., M'Sadak Y., AssongOwona G.S., Zinga-Koumba C.R., Assani S., M'batchi B. et Mavoungou J.F. Production des plants de tomate (*Lycopersicon esculentum*) 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, no1, 2016, 83-94.
18. M'Sadak Y. et Ben M'barek A. Évaluation de la maturité et de la qualité chimique des substrats de croissance à base de méthacompost avicole pour une meilleure exploitation. Larhyss Journal, n° 23, 2015b, 117-138.
19. Guehl J.M., Falconnet G. et Gruez J. Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *cedrusatlantica* élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture. *Annales des sciences forestières*, 46 (1), 1989, 1-14.
20. Alsanius B. and Jensen P. Asp h. (éds), *Proceedings of the international symposium on growing media and hydroponics*. Louvain, Belgique, international society for horticultural science, *acta horticulturae* 64, 2004, 644 p.
21. M'Sadak Y., El Amri A., Majdoub R. et Ben Ali M. Caractérisations physique et hydrique des substrats de culture des plants forestiers en conteneurs. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°17, 2014, 7-20.
22. M'Sadak Y. and Elouaer M.A. Chemical characterization of acacia cyanophylla compost as growth substrate. *Report and Opinion*, 5 (2), 2013, 20-25.
23. Beauchamp C.J. Le compostage et son compost en agriculture biologique. Env-2900 z1 ; notes de cours, université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada, 2011.
24. Miller J.H. and Jones N. Organic and compost-based growing media for tree seedlings nurseries. *World bank technical paper*, n° 264, 1995.
25. Morard P. Les cultures végétales hors sol. S.A.R.L., Publications Agricoles AGEN, Paris, France, 1995, 9-11.
26. Michel J.Ch. 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, sd, 7 p.
27. M'Sadak Y., Elouaer M.A. et El Kamel R. Comportement physique des composts, des tamisats et des mélanges pour une meilleure exploitation en pépinière. *Revue de Génie Industriel*, n°8, 2012c, 44-54.
28. CPVQ. Pépinières- culture en conteneurs- substrats, Ed. Document technique, conseil des productions végétales du Québec, Canada, 1993, 19 p.
29. Vallée C. et Bilodeau G. Les techniques de culture en multi cellules. Ouvrage réalisé sous la responsabilité du CEGEP régional de Lanaudière à Joliette. Institut Québécois du Développement de l'Horticulture Ornementale (IQDHO), 1999, 70 p.
30. Boudreault S. 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., Faculté des études supérieures de l'Université L, Québec, Canada, 2010, 90 p.
31. Hannah J. Bonnes pratiques de culture en pépinières forestière. Directives pratiques pour les pépinières de recherche. Manuel technique n°3. World Agro Forestry Centre (ICRAF), 2006, 93 p.
32. M'Sadak Y. et Ben M'barek A. Characterization qualitative and potentialities of utilization of methacomposts of poultry in the nurseries aboveground. *J Fundam. Appl. Sci.*, vol 8, n°3, 2016, 875-893.
33. MalickSall P. Étude du compost et du lixiviat obtenus par co-compostage des résidus agroalimentaires à la ferme. M. Sc., Québec, Canada, 2014, 125 p.

34. Hirai M.F., Katayama A. and Kubota H. Effect of compost maturity on plant growth. *Biocycle* 27,1986, 58-61.
35. Afilal M.E., Elasri O. et Merzak Z. Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel biogaz (Organic Waste Characterization and Evaluation of its Potential Biogas). Laboratoire de biologie des plants et microorganismes, Université Mohamed Premier, Oujda, Maroc. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (4), 2014, 1160-1169.
36. M'Sadak Y. et Ben M'barek A. Caractérisation physico-hydrrique des substrats de culture à base de méthacompost avicole pour une meilleure valorisation. *Larhyss Journal*, n° 20, 2014, 167-187.
37. Clauzel J.M. L'analyse physique du substrat, outil méconnu du producteur hors sol. Bordeaux, laboratoire d'analyses et de conseils agronomiques, lettre d'information, 1997.
38. Lamhamedi M.S., Andre Fortin J., Ammari Y., Ben Jelloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A. et Godin L. Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants élevés en conteneurs, ed. Direction générale des forêts, Tunisie et Pampev internationale ltée, Canada, projet bird n° 3601, Tunis, 1997, 121 p.
39. FAC. Compost and sewage sludge: guidelines and recommendations of the research centre for agricultural chemistry and environmental science with respect to waste fertilisers. Edmzart.-nr. 1995, 730.920.
40. Kerkeni A. Contribution à la valorisation des composts et des jus de composts : incidence sur la fertilisation et la protection phytosanitaire de quelques espèces légumières. Thèse de doctorat en sciences agronomiques de l'institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem (ISA-CM), Tunisie, 2008, 158 p.
41. Lemaire F., Dartigues A., Rivières L.M. Et Charpentier S. Culture en pots et conteneurs - principes agronomiques et applications. Ed. INRA, Paris, France, 1989, 181 p.
42. Larbi M. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Dissertation, Forschungs Institut Für Biologischen Landbau (FIBL), FRIIK, Université de Neuchâtel, Suisse, 2006, 161 p.
43. Bernal M.P., Paredes C., Sanchez M.M.A. and Cegarra J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63, 1998, 91-99.
44. Landis T.D., Tinus R.W., Mc Donald S.E. and Barnett J.P. The container tree nursery manual. Vol. 4: seedling nutrition and irrigation. Agriculture handbook series, 674. Washington, dc, USA, us department of agriculture, forest service, 1990, 119 p.
45. Lamhamedi M.S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin J.A. et Margolis H. Problématique des pépinières forestières en Afrique du nord et stratégies d'orientation. *Cahiers Agricultures*, 9 (5), 2000, 369-380.
46. Sanchez-Monedero M., Roig A., Cegarra J., Bernal M. P., Noguera P., Abad M. and Anton A. Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost science & utilization*, 12 (2), 2004, 161-168.
47. Kratky B.A. And Mishima H.Y. Lettuce seedling and yield response to preplant and foliar fertilization during transplant production. *Journal of the*

- American society for horticultural science, 106 (1), 1981, 3-7.
48. Herrera F., Castillo J.E., Chica A.F. and Lopez Bellido L. Use of Municipal Solid Waste Compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants, *Bioresource Technology*, 99, 2008, 287-296.
49. Soumare M., Demeyer A., Tack F.M.G. and Verloo M.G. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts, *Bioresource Technology*, vol. 81, n°2, 2002, 97-101.
50. Comtois M., Legaré M., Limoges C.M., Martineau C. et Mongeau B. 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, 2004, 57 p.
51. Tambone F., Genevini P., D'imporzano G. and Adani F. 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. *Bioresource Technology*, 100, 2009, 3140-3142.
52. Fuchs J., Galli U., Schleiss K. et Wellinger A. 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, 2001, 11 p.
53. Nicolardot B. Appréciation simple de la maturité des composts urbains en relation avec leurs effets sur la production végétale. *Agronomie*, 6 (9), 1986, 819-827.
54. Sullivan D.M. and Miller R.O. compost quality attributes, measurements, and variability. In: Stoffella, p.j. Etkahn, b.a (eds.). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis publishers, New York, USA, 2001, 95-120.
55. Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L. et Gingras C. Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Ed. Direction générale des forêts, Tunisie et Pampev Internationale ltée, Canada, 2006, 114 p.
56. M'Sadak Y. et Tayachi L. Valorisation agronomique hors sol de la Biométhanisation industrielle avicole en Tunisie. *Revue des Énergies Renouvelables* vol. 17 n°3, 2014, 447-464.
57. M'Sadak Y., Elouaer M.A. et El Kamel R. Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière, *Revue Bois et Forêts des Tropiques (RBFT)*, vol. 3, n° 313, 2012b, 61-71.
58. M'Sadak Y., Ben M'barek A. and Tayachi L. Behavior of acacia plants installed on substrates based on compost sylvicole with or without methacompost of poultry in modern nursery in Tunisia. *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 5, n°1, 2013b, 40-52.
59. Ammari Y., Lamhamedi M.S., Zine El Abidine A. et Akrimi N. Production et croissance des plants résineux dans différents substrats à base de compost dans une pépinière forestière moderne en Tunisie. *Revue Forestière Française*, N°4, 2007, 339-358.
60. M'Sadak Y., Hamdi W. et Zaalani Ch. 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, 2013c, 29-34.