
Soumis le : 02 Avril 2012
 Forme révisée acceptée le : 03 Décembre 2012
 Email de l'auteur correspondant :
 msadak.youssef@yahoo.fr

Caractérisation physique des substrats de croissance pour une meilleure adaptation à la filière horticole en Tunisie

M'Sadak Youssef^{*}, Elouaer Mohamed Aymen^{*} et Dhahri Moez^{*}

**Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, 4042, Sousse, Tunisie*

Résumé

La tourbe constitue le substrat de référence pour la croissance des plants en pépinière maraîchère moderne. Cependant, cette matière ne cesse de poser des problèmes en matière d'approvisionnement et d'hémorragie de devises. À cet effet, des projets de recherche ont été menés pour substituer partiellement ou totalement cette matière en utilisant d'autres sources naturelles et déchets agricoles 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 Co-compost (issu généralement de la mise en compostage mixte d'une biomasse lignocellulosique et d'une biomasse fermentescible) ou compost (issu de la mise en compostage d'une seule biomasse, de préférence équilibrée en carbone et azote), tout en évaluant leurs propriétés physiques (porosité totale, d'aération et de rétention). La substitution progressive de la tourbe à des pourcentages croissants (25, 50 et 75 %) par le Co-compost ou compost affecte considérablement les paramètres de porosité totale, d'aération et de rétention du substrat de croissance. Les résultats obtenus montrent aussi que cette substitution répond aux normes standards pour certains mélanges à base de tourbe et Co-compost ; Cependant, les normes ne sont pas respectées, en ce qui concerne la porosité d'aération pour les deux proportions suivantes : 50 % Tourbe + 50 % Co-compost et 25 % Tourbe + 75 % Co-compost. Si l'incorporation du Co-compost avec la tourbe n'est pas intéressante au-delà de 25 %, la substitution partielle de la tourbe avec 50 % de compost sylvicole criblé a révélé des résultats encourageants.

Mots clés : Qualité physique, porosité totale, porosité d'aération, porosité de rétention, tourbe, compost pur, mélange, substrat de croissance.

Abstract

Peat is the most used growth substrate in modern horticultural nurseries. However, this material is very expensive and continues to pose problems in matter of supply. That's why, research projects were conducted to partially or completely substitute this material using other natural sources and agricultural waste locally available at lower cost. The overall objective is to develop a growth substrate by achieving suitable mixtures of peat with Co-compost (usually obtained from the composting of lignocelluloses biomass mixed with fermentable biomass) or compost (resulted from the composting of a single biomass, balanced in content of carbon and nitrogen), and evaluating their physical properties (total porosity, aeration porosity and retention porosity). The gradual substitution of peat with increasing percentages (25, 50 and 75 %) of Co-compost or compost significantly affects total porosity, aeration porosity and retention porosity of the resulting growth substrate. Results show that certain mixtures containing peat and Co-compost meets standards in term of porosities; however, those standards are not complied in term of the aeration porosity for the two following proportions: (50 % peat + 50 % Co-compost) and (25 % peat + 75 % Co-compost). If the incorporation of Co-compost with peat is not interesting beyond 25 %, the partial substitution of peat with 50 % screened forestry compost revealed encouraging results.

Keywords: Physical quality, total porosity, aeration porosity, retention porosity, peat, compost, mixture, growth substrate.

1. Introduction

Pour une meilleure conduite et un comportement adéquat des plants, il est indispensable d'utiliser un substrat de bonne qualité physique. La capacité à

maintenir une humidité et une aération adéquate est l'une des caractéristiques physiques recherchées permettant de mieux valoriser un substrat de croissance [2, 3]. 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 [21]. 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 [4, 9, 12, 17, 18].

Dans plusieurs pays en voie de développement, les substrats sont généralement composés de terre minérale, d'humus des forêts, de sable et de fumier [22]. Les propriétés physico-chimiques varient d'une année à l'autre selon les pépinières, la source des composants et leur disponibilité. En plus d'être une source potentielle de mauvaises herbes et de maladies [16], cette pratique ne facilite pas la standardisation et l'amélioration continue des techniques culturales pour la production de plants dans les pépinières forestières. L'utilisation de tels substrats en Afrique du Nord gêne la croissance des plants et les taux de survie après plantation dans les programmes de reboisement, d'où, le recours à l'importation de la tourbe pour satisfaire notamment les besoins de la filière horticole.

Néanmoins, l'augmentation du prix de la tourbe [27], ainsi que son importance pour l'environnement dans le maintien de la biodiversité [8], ont augmenté la pression sociale contre l'exploitation de la tourbe. 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 ont été mises à l'essai [11, 13, 26, 32].

Les déchets organiques, après compostage, peuvent être utilisés comme substrat de croissance pour remplacer la tourbe [3, 10, 23, 31]. C'est ainsi que de nombreuses études récentes ont mis l'accent sur le compostage des divers matériaux organiques disponibles localement [1]. Les matériaux les plus fréquemment utilisés sont les résidus forestiers [34], les déchets agricoles [20], les déchets de jardin [5] et les déjections animales [7]. De même, plusieurs études ont montré l'efficacité de l'utilisation du compost en mélange avec la tourbe comme

Tableau 1 : Composition des Co-composts et de composts purs mis à l'essai de porosité

N°	Identification	Nature du substrat
1	T1AM	70 % Grignons d'olives + 15 % Fumier ovin + 15 % Fumier bovin + Margines
2	T1SM	70 % Grignons d'olives + 15 % Fumier ovin + 15 % Fumier bovin
3	T2AM	50 % Grignons d'olives + 20 % Fumier de volailles + 30 % Fumier bovin + Margines
4	T2SM	50 % Grignons d'olives + 20 % Fumier de volailles + 30 % Fumier bovin
5	T3AM	50 % Grignons d'olives + 20 % Fumier de volailles + 30 % Fumier des équidés + Margines
6	T3SM	50 % Grignons d'olives + 20 % Fumier de volailles + 30 % Fumier des équidés
7	T4AM	75 % Grignons d'olives + 25 % Fumier de volailles + Margines
8	T4SM	75 % Grignons d'olives + 25 % Fumier de Volailles
9	T5AM	20 % Grignons d'olives + 20 % Fumier de volailles + 20 % Fumier ovin + 20 % Fumier bovin + 20 % Fumier des équidés + Margines
10	T5SM	20 % Grignons d'olives + 20 % Fumier de volailles + 20 % Fumier ovin + 20 % Fumier bovin + 20 % Fumier des équidés
11	T	Tourbe importée
12	CSC	Compost Sylvicole Criblé à la maille 15 mm, issu d'un broyat 100 % <i>Acacia cyanophylla</i>

substrat de croissance pour la production de plants en pépinière [15, 24, 28, 30]. Un bon substrat doit répondre essentiellement à certaines normes physiques en matière de rétention et d'aération. Le test standard de porosité est le procédé de terrain le plus simple à mettre en œuvre pour évaluer physiquement n'importe quel substrat. D'après la Direction Générale des Forêts (DGF 1997 ; cité par [25]), on doit viser dans les pépinières tunisiennes les paramètres physiques suivants : Porosité totale ≥ 50 % ; porosité d'aération ≥ 20 % et porosité de rétention ≥ 30 %. En prenant les précautions nécessaires de confection des mélanges à réaliser et du mode opératoire du test en question, l'appréciation des porosités d'un substrat de culture par ce test constitue pour le pépiniériste le moyen le plus facile pour réaliser le choix adéquat [6]. Ainsi, l'objectif global de la présente étude est la substitution (partielle ou intégrale) de la tourbe importée par un mélange (Tourbe + Compost) en respectant la nature et le ratio, voire par uniquement un Co-compost produit localement à base des biomasses oléicole (lignocellulosique) et animale (fermentescible) ou un compost sylvicole issu de broyat d'*Acacia cyanophylla*.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Substrats de culture

Pour mettre au point un substrat de croissance adapté, on a testé 12 substrats purs (10 à base de Co-compost, 1 à base de compost et la tourbe comme substrat de référence) dont la composition est indiquée dans le tableau 1 et 12 mélanges (9 à base de Tourbe + Co-compost et 3 à base de Tourbe + Compost) selon les ratios illustrés dans le tableau 2.

Tableau 2 :

Composition des mélanges mis à l'essai de porosité

N°	Identification	Nature du mélange
1	SCB	75 % Tourbe + 25 % T2SM
2	SCC	75 % Tourbe + 25 % T2AM
3	SCD	75 % Tourbe + 25 % T4AM
4	SCE	50 % Tourbe + 50 % CSC
5	SCB1	50 % Tourbe + 50 % T2SM
6	SCB2	25 % Tourbe + 75 % T2SM
7	SCC1	50 % Tourbe + 50 % T2AM
8	SCC2	25 % Tourbe + 75 % T2AM
9	SCD1	50 % Tourbe + 50 % T4AM
10	SCD2	25 % Tourbe + 75 % T4AM
11	SCE1	75 % Tourbe + 25 % CSC
12	SCE2	25 % Tourbe + 75 % CSC

Les divers constituants organiques mis en Co-compostage (effluents d'huileries d'olives, fumiers, fientes, ...) ou en compostage (branches sylvicoles broyées) sont largement disponibles en Tunisie, pouvant ainsi satisfaire la production locale à l'échelle de la quasi-totalité des pépinières régionales [2, 18]. Notons que les effluents oléicoles mis en Co-compostage étaient sous forme solide (grignons jouant le rôle d'agent structurant) et liquide (margines contribuant, entre autres, à l'humidification des andains et l'enrichissement en éléments minéraux). Il est à signaler également que chaque andain confectionné avait comme caractéristiques essentielles : volume de 30 à 40 m³ mis en fermentation pendant 4 à 6 mois avec au moins trois retournements-arrosages par cycle.

2.2. Appréciation physique par le Test Standard de Porosité

Matériel : Le matériel utilisé lors de la détermination de la porosité d'un substrat de culture est relaté ci-après.

- Conteneurs à 15 cavités (3 rangées x 5).
- Eprouvette graduée (1000 ml).
- Chronomètre.
- Bande collante (Scotch) pour l'obstruction des trous de drainage des conteneurs.
- Clou de perçage pour dégager les trous de drainage.

Variables mesurées et paramètres étudiés : Les variables mesurées sont :

Volume total (VT) : Obstruer les trous de drainage de 9 cavités (3cavités x 3 répétitions), puis remplir avec de l'eau. Le volume d'eau versé dans les trois cavités représente le volume total d'une répétition.

Volume de pores (VA) : Remplir les 9 cavités avec le substrat sec, puis ajouter l'eau. Après une heure, ajouter l'eau de nouveau si nécessaire.

Volume de la phase gazeuse (VR) : Attendre 10 à 15 minutes avant de recueillir l'eau (après le dégagement des trous de drainage), le volume obtenu correspond au volume de la phase gazeuse.

Les paramètres de porosité sont déterminés comme suit.

$$\text{Porosité totale : Pt (\%)} = (\text{VA} / \text{VT}) \times 100$$

$$\text{Porosité d'aération : Pa (\%)} = (\text{VR} / \text{VT}) \times 100$$

$$\text{Porosité de rétention : Pr (\%)} = \text{Pt} - \text{Pa}$$

2.3. Tests de porosité mis en œuvre

Le test standard de porosité a porté, d'une part, sur les 10 Co-composts purs issus du Centre Technique d'Agriculture Biologique (CTAB) dont trois ont fait l'objet des mélanges confectionnés, sur la tourbe importée (T) et sur le compost sylvicole criblé, soit au total douze substrats de culture purs, et d'autre part, sur quatre mélanges (Tourbe + Co-compost ou compost) selon trois ratios (75-25, 50-50, 25-75) ; soit au total, 12 mélanges de culture. Le nombre total de tests de porosité a concerné au total 12 substrats purs et 12 mélanges, soit 24 x 3 répétitions = 72 tests élémentaires.

2.4. Analyses statistiques

Les résultats relevés relatifs aux diverses analyses physiques des substrats ont subi l'analyse de la variance (ANOVA) et la comparaison des moyennes par le Test de Duncan en ayant recours au logiciel SPSS (13.0). Les différences ont été considérées significatives au seuil de 5 % (Moyennes suivies de lettres différentes). Les moyennes suivies de la même lettre ne se diffèrent pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5 % (P>0,05).

3. Résultats

3.1. Substrats de culture purs

La figure 1 illustre les résultats relatifs aux porosités d'aération et de rétention de 12 substrats de culture purs mis à l'essai. Les substrats de culture purs testés répondent tous aux normes pour la porosité totale (Pt ≥ 50 %) et celle de rétention (Pr ≥ 30 %), mais on constate que seulement les substrats purs (T2AM, T2SM, T4AM, Tourbe et CSC) répondent aux normes de la porosité d'aération (Pa ≥ 20 %). Donc, on peut affirmer que les autres substrats purs (T1AM, T1SM, T3AM, T3SM,

T4SM, T5AM, T5SM) ayant une porosité d'aération qui ne concorde pas aux normes ne peuvent pas être adoptés comme substrats purs de culture. A ce propos, ils devraient être mélangés avec des éléments aérateurs pour améliorer leur qualité physique.

3.2. Cas des Mélanges Tourbe + Co-compost T2AM

La figure 2 représente les résultats relevés de la porosité d'aération et celle de rétention des mélanges SCC, SCC1 et SCC2. La figure 3 illustre la variation des porosités totale et d'aération du mélange Tourbe + T2AM pour les cinq substrats (S1, S2, S3, S4 et S5) dont les deux extrêmes sont purs alors que les trois intermédiaires concernent des mélanges relatifs aux ratios de mélange appliqués. La comparaison des moyennes par Le Test de Duncan est illustrée sur les deux figures en question.

Les substrats issus des mélanges Tourbe + T2AM testés répondent aux normes pour les porosités totales ($P_t \geq 50\%$) et celles de rétention ($P_r \geq 30\%$), mais on note que seulement le mélange SCC répond aux normes de la porosité d'aération ($P_a \geq 20\%$) et que les mélanges SCC1 et SCC2 ne sont pas conformes (Fig. 2).

L'incorporation progressive du substrat T2AM avec la tourbe fait varier significativement le pourcentage de la porosité d'aération du substrat final, la substitution de la tourbe de 25 à 50 % par le substrat T2AM rend le mélange non conforme à la norme ($P_a \geq 20\%$). En outre, une différence significative est observée au niveau de la porosité totale (Fig. 3); toutefois, la norme relative à la porosité totale est respectée, quelque soit la proportion du substrat T2AM additionné.

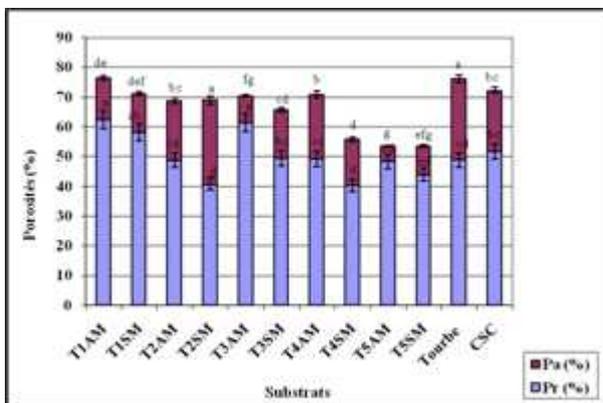


Figure 1 : Porosités d'aération et de rétention des substrats de culture purs (*) Les moyennes suivies de la même lettre ne se différencient pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

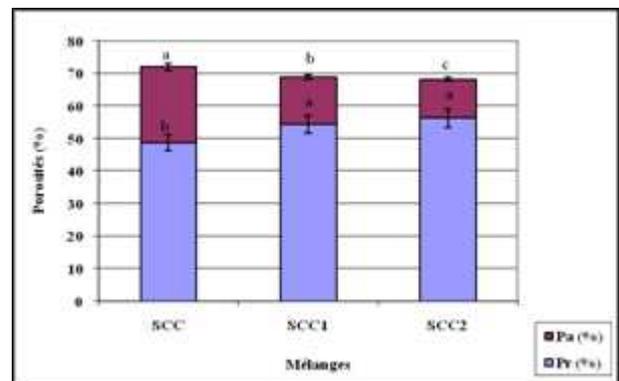


Figure 2 : Porosités d'aération et de rétention des mélanges Tourbe + T2AM

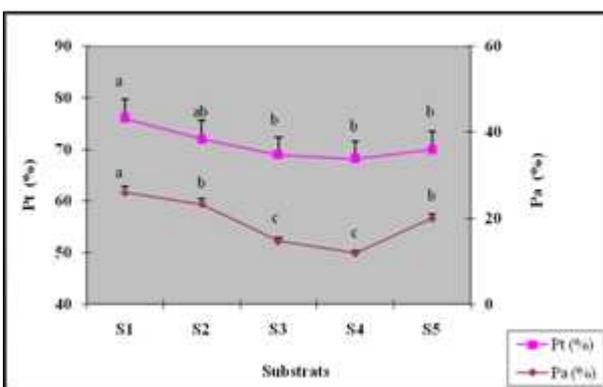


Figure 3 : Variation de la porosité totale et de la porosité d'aération du mélange Tourbe + T2AM (*) S1: 100% T ; S2: 75% T + 25% T2 ; S3: 50% T + 50% T2 ; S4: 25% T + 75% T2 ; S5: 100% T2 ; T : Tourbe ; T2 : 50% Grignons d'olives + 20% Fumier de volailles + 30% Fumier bovin ; AM : Avec Margines. (***) Les moyennes suivies de la même lettre ne se différencient pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

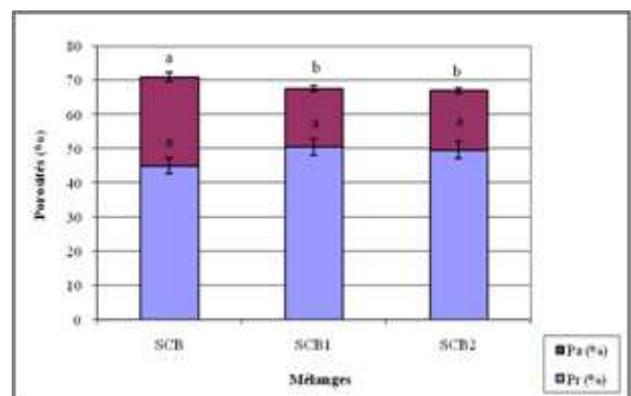


Figure 4 : Porosités d'aération et de rétention du mélange Tourbe + T2SM

La figure 4 illustre les résultats relevés de la porosité d'aération et celle de rétention des mélanges SCB, SCB1 et SCB2. La figure 5 représente la variation de la porosité totale et celle d'aération du mélange Tourbe + T2SM pour les cinq substrats testés (S1, S2, S3, S4 et S5). La comparaison des moyennes est illustrée au niveau des courbes correspondantes.

Les substrats issus des mélanges Tourbe + T2SM essayés concordent aux normes pour la porosité totale ($P_t \geq 50\%$) et celle de rétention ($P_r \geq 30\%$), mais on enregistre que seulement le mélange SCB répond aux normes de la porosité d'aération ($P_a \geq 20\%$) et que les

mélanges SCB1 et SCB2 ne sont pas adéquats (Fig. 4). L'addition progressive du substrat T2SM avec de la tourbe modifie significativement le pourcentage de la porosité d'aération du substrat, l'addition de 25 à 50 % du substrat T2SM avec de la tourbe rend le mélange non approprié avec la norme ($P_a \geq 20\%$). Cependant, aucune différence significative n'est observée concernant la porosité totale de trois mélanges étudiés (Fig. 5). Dans l'ensemble, la norme relative à la porosité totale est respectée quelque soit la proportion du substrat T2SM ajouté.

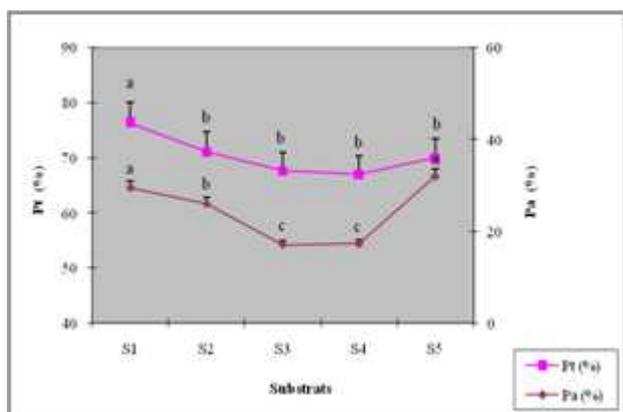


Figure 5 : Variation de la porosité totale et de la porosité d'aération du mélange Tourbe + T2SM
 (*) S1: 100% T; S2: 75% T + 25% T2; S3: 50% T + 50% T2; S4: 25% T + 75% T2; S5 : 100% T2 ; T : Tourbe
 T2 : 50% Grignons d'olives + 20% Fumier de Volailles + 30% Fumier bovin ; SM : Sans Margines.
 (**) Les moyennes suivies de la même lettre ne se différencient pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

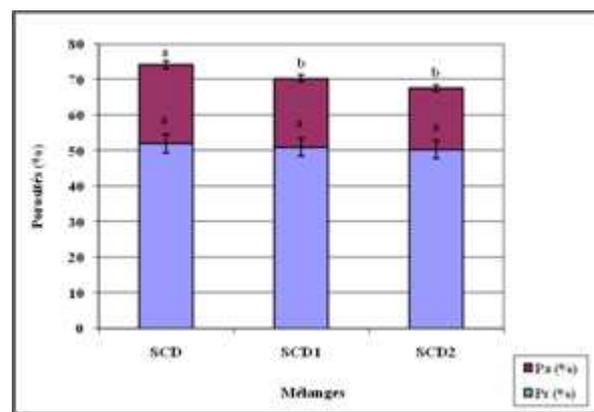


Figure 6 : Porosités d'aération et de rétention des mélanges Tourbe + T4AM

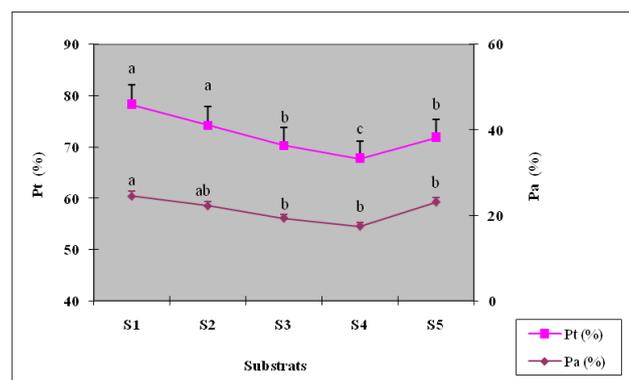


Figure 7 : Variation de la porosité totale et de la porosité d'aération du mélange Tourbe + T4AM
 (*) S1: 100% T; S2: 75% T + 25% T2; S3: 50% T + 50% T2; S4: 25% T + 75% T2; S5 : 100% T2 ; T : Tourbe
 T2 : 50% Grignons d'olives + 20% Fumier de Volailles + 30% Fumier bovin ; SM : Sans Margines.
 (**) Les moyennes suivies de la même lettre ne se différencient pas significativement selon le test Duncan au seuil de 5%.

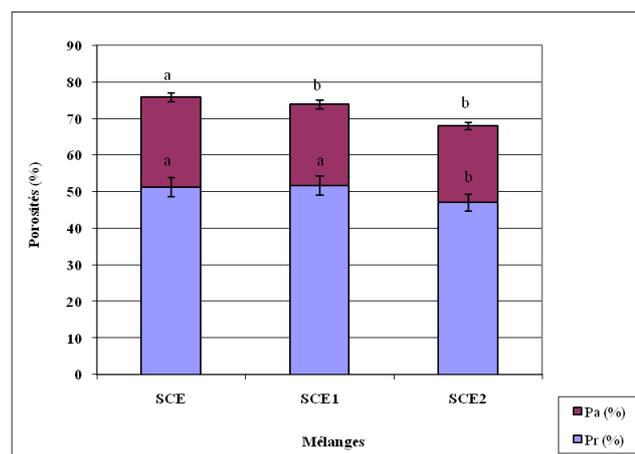


Figure 8 : Porosités d'aération et de rétention des mélanges Tourbe + CSC

3.3. Cas des mélanges Tourbe + Co-compost T4AM

La figure 6 représente les résultats obtenus relatifs à la porosité d'aération et celle de rétention des mélanges SCD, SCD1 et SCD2. La figure 7 illustre la variation de la porosité totale et celle d'aération des mélanges Tourbe + T4AM pour les cinq substrats considérés (S1, S2, S3, S4 et S5). La comparaison des moyennes est aussi illustrée.

Les substrats issus des mélanges Tourbe + T4AM expérimentés répondent aux normes pour la porosité totale ($P_t \geq 50\%$) et celle de rétention ($P_r \geq 30\%$), mais on remarque que seulement le mélange SCD concorde aux normes de la porosité d'aération ($P_a \geq 20\%$) et que les mélanges SCD1 et SCD2 ne sont pas conformes (Fig. 6). L'addition progressive du substrat T4AM avec de la tourbe fait changer significativement le pourcentage des porosités totale et d'aération du substrat en question (Fig. 7), l'addition de 25 à 50 % du substrat T4AM avec de la tourbe rend la norme d'aération du mélange non respectée.

3.4. Cas des Mélanges Tourbe + Compost CSC

La figure 8 illustre les résultats relevés de la porosité d'aération et celle de rétention des mélanges SCE, SCE1 et SCE2. La figure 9 représente la variation de la porosité totale et celle d'aération du mélange Tourbe + CSC pour les cinq substrats utilisés (S1, S2, S3, S4 et S5). La comparaison des moyennes est également illustrée.

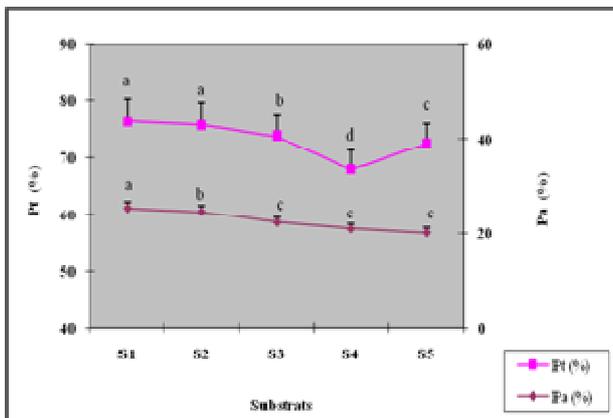


Figure 9 : Variation de la porosité totale et de la porosité d'aération du mélange Tourbe + CSC

(*) S1: 100% T; S2: 75% T + 25% T4AM; S3: 50% T + 50% T4AM; S4: 25% T + 75% T4AM, S5: 100% T4AM.

T : Tourbe ; T4AM : 75% Grignons d'olives + 25% Fumier de Volailles + Margines ; CSC : Compost Sylvicole criblé.

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

Les substrats issus des mélanges Tourbe + CSC testés répondent aux normes pour la porosité totale ($P_t \geq 50\%$), la porosité de rétention ($P_r \geq 30\%$) et la porosité d'aération ($P_a \geq 20\%$) (Fig. 8). L'addition progressive du substrat CSC avec de la tourbe fait varier significativement le pourcentage des porosités totale et d'aération du substrat final (Fig. 9), l'addition de 50 à 75 % du substrat CSC à la tourbe rend le mélange non conforme à la norme d'aération ($P_a \geq 20\%$).

4. Discussion

Dans l'ensemble, le présent travail expérimental a montré que la confection des mélanges à base de tourbe et de Co-compost permet d'obtenir des substrats respectant dans une certaine mesure les normes standards de porosité et pouvant ainsi être un substitut partiel à la tourbe qui engendre une hémorragie en matière de devises, tout en permettant de mieux valoriser les ressources locales en biomasse. En effet, plusieurs travaux de recherche ont montré que la nature des produits utilisés pour la confection des substrats de croissance a une influence majeure sur leurs propriétés physico-chimiques [2, 16, 18, 29, 33]. En pépinière, les propriétés physiques du substrat de culture comptent parmi les facteurs déterminants de la qualité morphologique des plants. Les caractéristiques physiques s'avèrent très importantes; elles influent directement sur l'ensemble des fonctions racinaires des plants, notamment l'absorption de l'eau et des éléments minéraux [6, 14, 16, 18, 19]. En se basant sur ce principe, on enregistre que pour les divers mélanges à base de tourbe et Co-compost, les normes ne sont pas toujours respectées simultanément pour la porosité totale, la porosité de rétention et celle d'aération. Pour certains mélanges à base de Tourbe et Co-compost (T2SM, T2AM, et T4AM), les résultats répondent aux normes pour la porosité totale et la porosité de rétention pour tous les ratios de mélange considérés, mais on constate que les normes ne sont pas constamment respectées, en ce qui concerne la porosité d'aération pour les deux proportions suivantes :

- 50 % Tourbe + 50 % Co-compost
- 25 % Tourbe + 75 % Co-compost

Partant de ces constats, on peut dire que les mélanges Tourbe + Co-compost selon ces deux derniers ratios ne peuvent pas être admis comme substrats de culture.

Pour les mélanges à base de tourbe et compost sylvicole criblé, les résultats obtenus répondent aux normes pour les trois porosités (totale, d'aération et de rétention). La substitution partielle de la tourbe avec 50 % de compost sylvicole criblé est possible surtout lorsque sa maturité est totalement atteinte, ce qui pourrait contribuer à une réduction considérable des importations de la tourbe.

5. Conclusion

Les caractéristiques sollicitées d'un substrat de culture reposent particulièrement sur ses qualités physiques, essentiellement la maîtrise de sa porosité, ayant fait l'objet du travail préliminaire entrepris.

A partir des aboutissements, on peut dégager notamment les principales constatations ci-après.

- Dans leur état actuel, les Co-composts issus des biomasses oléicole et animale ou le compost sylvicole, produits localement, ne peuvent pas former le substrat adéquat pour la culture des plants maraîchers, toutefois, leur incorporation avec la tourbe pourrait constituer une alternative pour la réduction des importations.

- Les substrats résultant d'un mélange de tourbe avec Co-compost ne présentent pas toujours des résultats acceptables concernant les porosités (totale, d'aération et de rétention). Le meilleur mélange est celui confectionné selon le ratio 25-75, quelle que soit la nature du Co-compost incorporé.

- Le compost sylvicole issu de broyat d'Acacia, à l'état criblé, s'avère intéressant pour un mélange avec la tourbe à raison de 50 %, cependant, une telle substitution peut être modifiée selon son état granulométrique. Ce dernier peut être ajusté en améliorant les traitements physiques appliqués (criblage et/ou broyage d'affinage).

Dans l'avenir, il convient de poursuivre les investigations dans une optique d'évaluation de l'ensemble des propriétés physico-chimiques (pH, conductivité électrique, capacité d'échange cationique, courbes de rétention en eau, C/N, fertilité minérale préalable du substrat, ...), non seulement à l'état initial, mais également au moins à la fin d'une production en pépinière, autrement dit, en présence de plants. La caractérisation unique de l'état initial reste insuffisante pour distinguer entre les substrats particulièrement lorsqu'on veut intégrer ces substrats à une échelle opérationnelle. Il fallait également apprécier la stabilité et l'évolution de l'ensemble des propriétés physico-chimiques des substrats tout au long d'un cycle opérationnel de production hors sol. Par ailleurs, il fallait expérimenter plusieurs espèces horticoles pour évaluer à la fois la croissance des plants en vue de sélectionner le (ou les) substrat (s) optimal (aux) pour un ensemble d'espèces horticoles.

Références

[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] Ammari Y., Lamhamedi 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.*, Tunisie 18 : 99-119.

[3] 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.

[4] 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.

[5] Brewer L.J., Sullivan D.M. 2003. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Sci. Util.* 11(2): 96-112.

[6] CPVQ. 1993. Pépinières, culture en conteneurs et Substrats. Document Technique Conseil des Productions Végétales du Québec, Canada, 19 p.

[7] Desalegn G, Binner E, Lechner P. 2008. Humification and degradability evaluation during composting of horse manure and biowaste. *Compos Sci Util* 16(2): 90-98.

[8] Fenner N, Ostle NJ, 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Handar Y., Inbar Y., Chen Y. 1985. Effects of compost maturity on tomato seedling growth. *Sci. Hort.*, 27: 199-208.

[12] 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.

[13] Herrera F., Castillo J.E., Chica A.F., López 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.

[14] Hillel D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego. 365 p.

[15] Inbar Y., Chen Y, Hoitink H.A.J. 1993. Properties for establishing standards for utilization of compost in container media, In: Hoitink HAJ, Keener HM (eds.). Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects. Renaissance Publication, Worthington, OH. 668-694.

[16] Lamhamedi MS, Ammari Y, Fecteau B, Fortin JA, Margolis H. 2000. Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégie de développement: Synthèse. *Cah Agric* 9: 369-380.

[17] Lamhamedi M.S., Lambany G., Margolis H.A., Renaud M., Veilleux L., Bernier P.Y., 2001. Growth, physiology, and leachate losses in *Picea glauca* seedlings (1+0) grown in air-slit containers under different irrigation regimes. *Can. J. For. Res.* 31: 1968-1980.

[18] 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. Projet ACDI E 4936-K061229. Pampev Internationale, Direction Générale des Forêts, Tunisie (eds). ISBN: 9973-914-08-2.

[19] Landis T.D. 1990. Growing media. In : Containers and growing media. Vol 2. Agriculture.

[20] Manios T. 2004. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island Crete. *Environ Int* 29: 1079-1089.

[21] 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.

[22] Miller JH., Jones N. 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. World Bank Technical Paper Number 264. Forestry series.

[23] Pryce S. 1991. Alternative to peat. *Professional Horticulture*, 5: 101-106.

- [24] Purman J.R., Gouin F.R. 1992. Influence of compost aging and fertilizer regimes on the growth of bedding plants, transplants, and poinsettia. *J. Environ. Hortic.* 10 : 52-54.
- [25] Raissi, Kh., 2004. Possibilités d'amélioration des chantiers mécanisés d'empotage-semis et d'utilisation de substituts à la tourbe pour la production de plants de tomate industrielle, *Projet de Fin d'Etudes*, E.S.H.E. Chott Mariem, 80 p.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Roe N.E., Kostewicz S.R. 1992. Germination and early growth of vegetable seed in compost. *Univ. Florida Proc.*, 101 : 191-201.
- [29] Sahin U., Ors S., Ercisli S., Anapali O., Esitken A. 2005. Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth. *J. Central Europ. Agric.* 6(3): 361-366.
- [30] Sanderson K.C. 1980. Use of sewage-refuse compost in the production of ornamental plants. *Hortic. Sci.* 15: 173-178.
- [31] Simins H.I., Manios V.L. 1990. Mixing peat with MSW compost. *Biocycle* 31: 60-61.
- [32] Verdock O. 1998. Compost from organic waste materials as substitutes for the usual horticultural substrates. *Boil. Wastes* 26: 325-350.
- [33] Wilson S.B., Stofella P.J., Gratez D.A. 2001. Use of composts as a media amendement for containerized production of two subtropical perennials. *J. Environ. Hort.* 19(1): 37-42.
- [34] Veijalainen A.M., Juntunen M.L., Heiskanen J., Lilja A. 2007. Growing *Picea abies* container seedlings in peat and composted forest-nursery waste mixtures for forest regeneration. *Scand J Forest Res* 22:390-397.