

Cit this: *JOWSET*, **2018** (02), N°02, 350-358

## Physico-chemical Characterization of Growth Substrates Derived from Peat Mixed with Silvicultural Compost for the Production of Seedlings

Y. M'Sadak\*, H. Bembli

Sousse University, High Institute of Agronomy, Chott-Mariem, 4042, Tunisia

\*Corresponding Author: Tel.: +21673327534; fax: +21673327591; e-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

The present investigation was carried out with a view to the partial substitution of the peat successively by one of the two forestry Composts (based on *Acacia* branches) according to two different maturities (C1 and C2) in the screened state, produced on the composting platform attached to the modern forestry nursery of Chott Mariem (Tunisia), while seeking the appropriate proportion to incorporate. The culture substrates or made-up mixtures have undergone certain physicochemical analyzes (bulk density, porosity, pH, electrical conductivity and organic matter).

The SB1 and SB2 substrates (80% Peat + 20% Compost), SD1 and SD2 (60% Peat + 40% Compost) and the substrate SE2 (50% Peat + 50% Compost) revealed the best physicochemical results. Overall, the incorporation of forest compost (longer than 6 months) should be maintained at 20-40%, or even 50%.

Received: 07 July 2018

Accepted: 08 September 2018

Available online: 11 September 2018

### Keywords:

Peat  
Forestry Compost  
Mixture  
Growth substrates  
Physical behavior  
Chemical behavior

## 1. Introduction

En vue de moderniser le secteur des pépinières forestières et maraîchères, la Tunisie s'est orientée vers l'introduction des nouvelles technologies de production et de gestion des pépinières. L'optimisation des techniques culturales en pépinières (irrigation, fertilisation, traitements phytosanitaires, ...) ne peut à elle seule garantir une production de plants de qualité, si les propriétés physico-chimiques du substrat de culture ne sont pas satisfaisantes [1-2-3-4]. De ce fait, les substrats de croissance doivent être poreux, répondant aux normes physico-chimiques minimales [5-6-7-8] et largement justifiés pour les pépinières. Il est donc indispensable d'utiliser des substituts renouvelables, appropriés et localement disponibles [9-10] pouvant soutenir, avec des performances assez semblables à celles de la tourbe, la production de plants de qualité. Le compostage peut jouer ce rôle et constituer la solution alternative à ce problème.

La biomasse sylvicole (notamment branches broyées d'*Acacia cyanophylla*) est actuellement compostée pour la production d'un substrat de croissance adapté à la culture des plants en conteneurs, tout en donnant généralement des résultats prometteurs [11]. Par ailleurs, d'autres auteurs ont dévoilé des gains de croissance susceptibles d'être obtenus en pépinières maraîchères par optimisation physico-chimique du substrat et de la fertilisation [12-13-14-15]. L'utilisation des ressources sylvicoles compostées 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 [16]. L'objet de ce travail consiste à déterminer quelques critères de qualité physico-chimique d'un certain nombre de substrats de croissance à base de mélange Tourbe (T) + Compost Sylvicole Criblé (CSC), tout en visant la recherche du ratio adéquat de mélange pour la production des plants maraîchers.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Substrats de croissance mis à l'essai

#### 2.1.1. Substrats purs

##### *Tourbe brune*

La Tourbe, dénommée SA, est la principale composante des substrats utilisés en pépinière, grâce à ses nombreuses caractéristiques physico-chimiques intéressantes. La Tourbe usagée lors de cette étude est importée (de marque KLASMANN).

##### *Composts sylvicoles*

Deux Composts Sylvicoles Criblés (CSC), à la Maille carrée 10 x 10 mm<sup>2</sup>, à base de rebroyat des branches fraîches d'*Acacia cyanophylla* (de diamètre inférieur à 8 cm), produits sur la plate-forme de compostage rattachée à la pépinière moderne de Chott Mariem (région de Sousse, Tunisie), de maturité différente (respectivement 9 et 15 mois) ont été mis à l'essai.

Signalons que le broyage des branches d'*Acacia* a été effectué par deux broyeurs distincts, l'un à couteaux, assurant un premier broyage sur le lieu d'approvisionnement en donnant un broyat grossier, et l'autre à marteaux avec grille de calibrage à trous ronds de diamètre 30 mm, garantissant un second broyage en pépinière en générant un broyat fin (Photo 1). Il s'agit de la technique du double broyage séparé (couteaux-marteaux). Après broyage, le rebroyat est mis en andains (Photo 2). Chaque andain subit deux à trois retournements manuels (en assurant simultanément son humidification) au cours du compostage, avant d'arriver à maturité (au minimum à 6 mois). Afin d'accélérer le processus de compostage, du nitrate d'ammonium (source d'azote) a été additionné, en deux apports (chacun de 1 kg/m<sup>3</sup>), l'un, lors de la mise en andains, et l'autre, lors du retournement des andains.

#### 2.1.2. Substrats en mélange

A partir de substrats purs cités précédemment, on a réalisé huit mélanges, tout en substituant partiellement la Tourbe par le CSC (le premier dénommé C1 est âgé de 9 mois, alors que le deuxième dénommé C2 est de 15 mois). On a employé différentes combinaisons de la tourbe et du CSC pour évaluer si ce dernier substrat pourrait réellement être un substitut potentiel de la tourbe. Les mélanges testés ont été répartis en deux séries relatées dans le Tableau 1. Il s'agit de déterminer les mélanges les plus adéquats, pouvant être employés comme substrats de culture pour la production des plants maraîchers en pépinière hors sol, en les comparant avec les résultats obtenus pour la tourbe utilisée comme support de référence.



**Photo 1.** Aire de broyage des branches d'*Acacia cyanophylla* en pépinière [4]



**Photo 2.** Vue générale des andains au niveau de l'aire de compostage sylvicole en pépinière [4]

**Tableau 1.** Identification et composition de substrats testés

Essai 1 : Mélanges T + C1			Essai II : Mélanges T + C2		
Substrats	% T	% C1	Substrats	% T	% C2
SA1	100	00	SA2	100	00
SB1	80	20	SB2	80	20
SC1	70	30	SC2	70	30
SD1	60	40	SD2	60	40
SE1	50	50	SE2	50	50

### 2.2. Évaluation des principales propriétés physico-chimiques

La qualité du substrat de culture est l'un des éléments les plus importants parmi ceux qui ont une influence sur la croissance du plant. Un bon substrat a un ensemble de propriétés

physiques et chimiques qui conditionnent une bonne et rapide croissance du plant [17].

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 exposée.

Notons que certaines analyses (N, P, K, ...) n'ont pas pu être effectuées pour des raisons de dysfonctionnement et d'indisponibilité de matériel.

## 2.2.1 Comportement physique

### 2.2.1.1 Masse volumique apparente

La masse volumique apparente ( $m_{va}$ ) correspond à la masse de l'unité de volume à l'état sec. La mesure de  $m_{va}$  a été réalisée sur les divers substrats mis à l'essai. Elle consiste à mettre les échantillons dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures pour déterminer la masse sèche [18]. Elle est calculée en appliquant la formule suivante :

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

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

### 2.2.1.2 Porosité

La porosité ou espace poral correspond à l'évaluation des espaces vides par rapport à l'encombrement total d'un substrat [19-20]. Une bonne porosité est nécessaire pour permettre à l'oxygène d'atteindre les racines et éviter la pourriture. La porosité représente la proportion du substrat qui n'est pas occupée par la matière organique solide. Le volume total des espaces vides, soit la porosité totale, existant à l'intérieur d'un volume de substrat, ne permet pas, pourtant, de connaître la proportion en eau et en air de ce substrat après saturation [21]. La capacité de rétention d'eau est fonction du conteneur utilisé. Dans les conteneurs peu profonds, le substrat a une capacité de rétention d'eau plus grande que dans des conteneurs plus profonds [22].

Les porosités (totale, d'aération et de rétention) sont estimées, moyennant le test standard de porosité, comme suit.

- La **porosité totale** ( $P_t$ ) 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 ajout de l'eau, s'il est nécessaire pour avoir une bonne saturation en eau du substrat).

- La **porosité d'aération** ( $P_a$ ) est déterminée par le rapport entre le volume ressuyé à travers les trous de drainage 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** ( $P_r$ ) est exprimée par la différence entre la porosité totale et la porosité d'aération. Les formules utilisées pour calculer les trois porosités sont présentées ci-après [23].

$$(1) \quad P_t (\%) = \frac{\text{volume versé}}{\text{volume total}} \times 100$$

$$(2) \quad P_a (\%) = \frac{\text{volume récupéré}}{\text{volume total}} \times 100$$

$$(3) \quad P_r (\%) = P_t (\%) - P_a (\%)$$

Les normes de porosité retenues dans le Contexte Tunisien ont été inspirées des Normes Canadiennes [24], en favorisant la rétention (limite supérieure) sur l'aération (limite inférieure), en raison du climat sec de la Tunisie. D'après Lamhamedi et al [25], on doit viser dans les pépinières tunisiennes les paramètres physiques suivants : Porosité totale  $\geq 50\%$  ; porosité d'aération  $\geq 20\%$  et porosité de rétention  $\geq 30\%$ .

## 2.2.2 Comportement chimique

### 2.2.2.1 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 [26]. L'optimum est d'environ 5,5 pour les supports organiques et 6,5 pour les supports minéraux [22].

La mesure du pH est réalisée selon la norme internationale [27]. Le pH est déterminé 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 séché, dilué 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 par un pH-mètre [23].

### 2.2.2.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est la concentration des ions solubles ou la salinité du compost [28]. La CE reflète la concentration en sels de la solution du substrat. Elle est d'autant plus élevée que la concentration ionique des électrolytes est élevée [29]. 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 peut aussi accroître la salinité du substrat, en augmentant le contact du substrat avec les sels [30].

La CE est mesurée par le conductimètre et elle est couramment exprimée en mS/cm ou mmhos/cm<sup>3</sup>. Un échantillon de substrat est extrait avec de l'eau à  $20 \pm 1$  °C (Rapport d'extraction de 1 : 5 pour dissoudre les électrolytes) [23].

La conductivité électrique et la salinité sont fortement corrélées et il existe une simple formule mathématique pour passer de la conductivité électrique à la salinité comme suit.

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

### 2.2.2.3 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 méthode considérée pour la détermination du taux de la MO au niveau de chaque substrat consiste à un pesage de 20 g de chaque substrat que l'on met dans l'étuve pendant 24 heures à 70°C, puis on fait la calcination de 5 g des échantillons, préalablement séchés pendant 2 heures à l'étuve, ensuite, à 900°C pendant au moins

6 heures dans un four à moufle et on détermine le Résidu Sec (RS) [4].

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

$$\text{MO (\%)} = (\text{M2} - \text{M1}) \times 100 / \text{M2} \quad [31]$$

Avec :

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

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

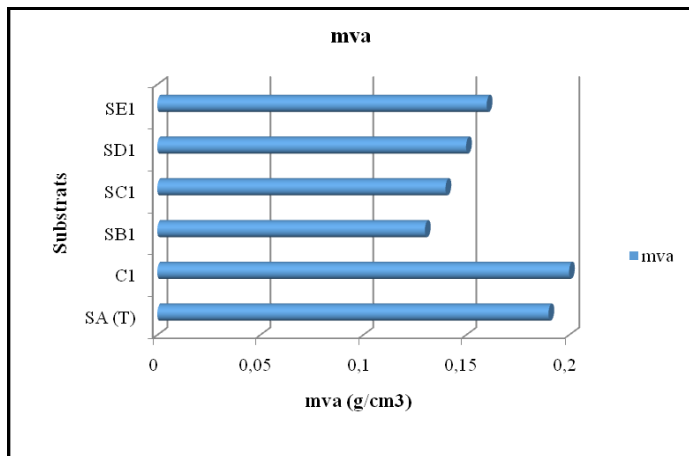
$$\text{COT (\%)} = \text{MO} / 1,72 \quad [31]$$

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Appréciation du comportement physique des substrats

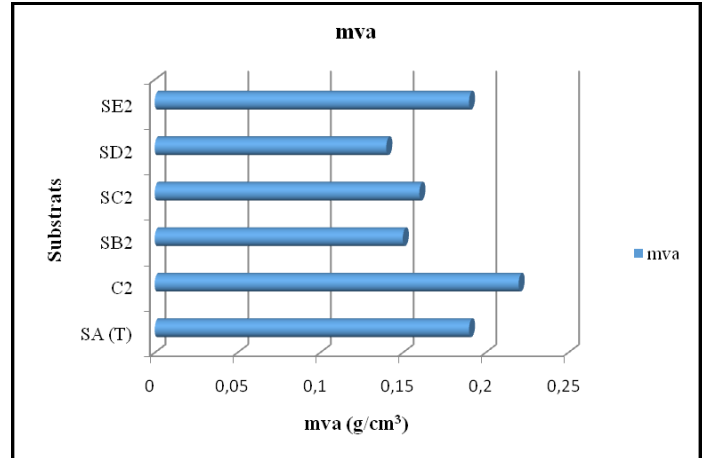
##### 3.1.1 Évaluation de la masse volumique apparente sèche

La phase solide du substrat peut être approchée par sa masse volumique ou sa densité. Dans le contexte d'étude, le substrat pur C2 est le plus lourd avec une masse volumique apparente maximale (Figure 2), présentant ainsi le degré de compactage le plus important. En contre partie, le substrat SB1 possède la masse volumique apparente la plus faible, favorable pour pallier les problèmes d'ancrage des racines (Figure 1). Globalement, il s'agit des substrats légers avec des masses volumiques apparentes variant de 0,13 à 0,22 g/cm<sup>3</sup>, et par conséquent, ces substrats ne posent pas de contraintes majeures, quant à leur emploi pour l'élevage des plants maraîchers.



**Fig.1.** Masse volumique apparente des substrats testés purs et en mélange (T + C1)

Clauzel [32] rapporte que plus la masse volumique apparente du substrat est faible, plus sa porosité est forte, ce qui est quasiment adéquat avec les résultats relevés. Selon Lamhamedi et al. [25], la masse volumique apparente augmente généralement la résistance mécanique du substrat.

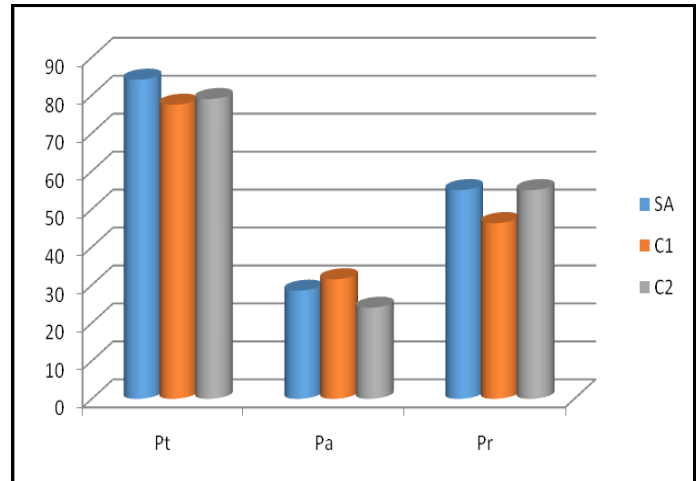


**Fig.2.** Masse volumique apparente des substrats testés purs et en mélange (T + C2)

##### 3.1.2 Évaluation de la porosité des substrats à partir du test standard

Un bon substrat de culture possède un ordre de grandeur de la porosité totale de 80 à 90% pour la tourbe brune [33], quoique, elle peut atteindre 95% [24].

La Figure 3 ci-après illustre les valeurs de porosité (totale, d'aération et de rétention) obtenues pour les trois substrats purs considérés.



\* SA : Tourbe (Témoin) \*\* C1 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 9 mois)  
\*\*\* C2 : Compost Sylvicole Criblé (Agé de 15 mois)

**Fig.3.** Porosité (%) de différents substrats purs testés

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.

La Tourbe SA et les composts C1 et C2 sont des substrats qui répondent aux normes pour la porosité totale ( $P_t \geq 50\%$ ). Pour la porosité d'aération, le compost C2 présente une valeur moins importante (24%) par rapport aux substrats SA et C1, tout en restant conforme à la norme ( $P_a \geq 20\%$ ). Les deux substrats SA et C2 présentent une  $P_r$  élevée ( $\geq 50\%$ ) par rapport au substrat C1. Ce dernier est considéré aussi substrat rétenteur comme SA et C2. Les particules fines de trois substrats testés permettent de stocker plus d'eau dans les micropores et peuvent avoir une disponibilité en eau élevée. Pour le cas du mélange tourbe avec compost C1, les quatre mélanges répondent aux normes pour la  $P_t$  (Figure 4). Les substrats SB1, SD1 et SE1 présentent une  $P_a$  importante, et par conséquent, ils peuvent être considérés comme substrats aérateurs.

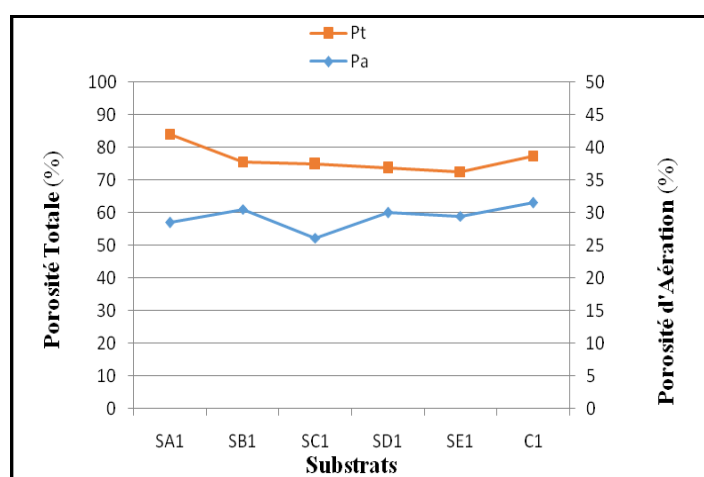


Fig.4. Variation de la porosité totale et de la porosité d'aération des substrats élaborés (Essai I)

L'analyse des résultats du test standard de porosité relatifs aux divers mélanges de l'essai II (Figure 5) permet de déduire que les substrats élaborés répondent aux normes de point de vue  $P_t$  ( $\geq 50\%$ ) et  $P_a$  ( $\geq 20\%$ ). Les substrats SB2, SC2 et SE2 dévoilent aussi une  $P_a$  importante, et par conséquent, ils peuvent aussi être considérés comme substrats aérateurs.

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 [2].

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 [34].

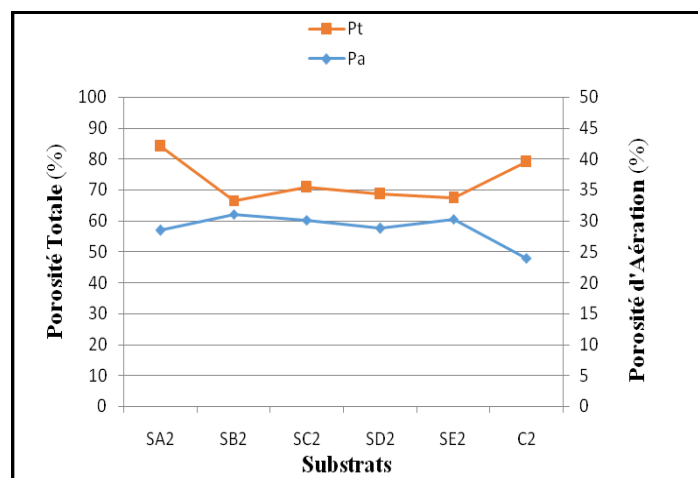


Fig.5. Variation de la porosité totale et de la porosité d'aération des substrats élaborés (Essai II)

### 3.2. Appréciation du comportement chimique des substrats

Il est nécessaire d'avoir une connaissance sur la réactivité chimique des substrats, afin de préserver la maîtrise de l'apport nutritionnel. Ainsi, il est indispensable de faire l'analyse chimique des substrats pour définir les conditions optimales de leur emploi en culture hors sol [35]. D'après Lamhamedi et al. [25], pour définir des conditions optimales de l'utilisation d'un substrat de culture adapté pour la production de plants, il est conseillé de faire au moins des analyses de certains critères apparaissant nécessaires (pH, CE et MO).

#### 3.2.1. 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 [36], voire, entre 7 et 9 [37]. Le tableau 2 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 5,64 et 6,80, à l'exception du résultat relevé pour le compost C2, ayant un pH basique inférieur à 7,85, et par conséquent, il est considéré comme substrat mûr. Le compost C1 peut être considéré comme substrat légèrement immature (pH acide égal à 6,80). 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 de culture devient fortement alcalin et l'assimilation du Cu, Zn, Mn, Fe et N tend à diminuer progressivement [38]. Par comparaison aux travaux antérieurs sur le compostage de la biomasse sylvicole en Tunisie [39], la valeur moyenne du pH du CSC est acceptable (pH proche de la neutralité). Selon Ammari et al. [39], le pH relativement neutre du compost mature à base d'*Acacia* combiné à la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation pourraient affecter négativement la disponibilité



des éléments nutritifs dans la rhizosphère des plants. La composition diverse 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 dans le contexte d'étude.

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 mature C2.

Sanchez-Monedero et al. [40] 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 [41-42]. M'Sadak et Ben M'Barek [43] 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 être une bonne indication sur la disponibilité des éléments minéraux dans le milieu de culture. Les plants s'enracinent mieux dans un substrat contenant peu d'éléments nutritifs [21]. La salinité peut également se développer à partir de la minéralisation d'azote et de la production d'acides organiques [44]. Pour un compost donné, selon Fuchs et al. [45], la CE ne doit pas dépasser 4 mS/cm. La salinité excessive du compost peut être à l'origine de sa phytotoxicité [44].

**Tableau 2.** pH, Conductivité électrique et salinité des différents substrats étudiés

Substrats	pH	CE (mS/cm)	S (g/l)
C1	6,80	2,44	1,70
C2	7,85	3,15	2,20
SA	5,85	1,24	0,86
SB1	5,80	1,62	1,13
SC1	5,87	1,32	0,92
SD1	5,75	1,51	1,05
SE1	5,74	2,32	1,62
SB2	5,64	1,80	1,29
SC2	6,06	2,02	1,41
SD2	6,17	2,28	1,59
SE2	5,98	2,21	1,54

A la lumière des résultats acquis, il est évident que le comportement chimique préliminaire étudié de différents

substrats testés est surtout influencé par la granulométrie du substrat utilisé, ainsi que par la nature du mélange élaboré.

### 3.2.2. Détermination 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 Ben M'Barek [43], le compost mûr doit avoir une teneur en MO inférieure à 50%. Pour un compost de qualité, de point de vue stabilité et maturité, la teneur en MO devrait être comprise entre 35 et 45%.

**Tableau 3.** Fraction organique des différents substrats élaborés

Substrats	MO (%)	COT (%)
C1	80,6	47,44
C2	82,4	49,53
SA	88,2	50,69
SB1	87,2	53,60
SC1	81,6	51,97
SD1	85,2	47,32
SE1	92,2	43,72
SB2	89,4	52,79
SD2	81,4	51,27
SC2	75,2	46,86
SE2	90,8	47,90

Selon 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 SC2 qui se détache de l'ensemble des substrats, en présentant la plus faible teneur en MO (75,2%), les substrats SA, SE1, SB2 et SE2 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 l'aptitude au compostage (ou compostabilité) d'un produit donné. L'activité microbienne est notable, suite à une diminution de la teneur en MO. Elle est considérée par certains auteurs, tels que Larbi [36], comme un paramètre de qualité et de maturité des composts. Mustin [46] discerne que dans le cas des composts, la teneur en MO dépend essentiellement de son degré de maturité. La stabilité d'un compost est une condition nécessaire, mais non suffisante. Un compost mûr sera donc un compost ayant sa matière organique stabilisée et non phytotoxique [47].

Dans l'ensemble, les substrats élaborés sont riches en COT avec une moyenne de 49,3%. Les valeurs extrêmes montrent un minimum de l'ordre de 44% et un maximum de l'ordre de 54%, présentant ainsi une plage de variation d'environ 10%.

Selon Mustin [46], la MO contient 58% de carbone organique. Le COT est la résultante du carbone organique et du carbone inorganique [48]. Le carbone organique est le principal constituant de la matière organique. Le carbone organique représente individuellement plus de 90% du COT du compost. Le reste, appelé carbone inorganique, inclut le dioxyde de carbone, l'acide carbonique et les carbonates [49].

Le rapport C/N est trop variable dans les composts mûrs pour être un bon indicateur de la maturité. Par contre, le rapport du carbone à l'azote organique est un excellent indicateur comme l'ont démontré Hirai et al. [50] à l'aide de l'analyse d'extraits aqueux de différents types de composts. Malheureusement, ce rapport n'a pas été évalué, faute de non dosage de l'azote.

#### 4. Conclusion

Le travail entrepris a été consacré à une évaluation directe des paramètres physico-chimiques des divers substrats à base de mélange Tourbe + Compost Sylvicole Criblé (CSC), tout simplement en modifiant le ratio appliqué. Au terme des investigations mises en œuvre, la synthèse des résultats est essentiellement la suivante :

- Concernant les paramètres physiques des substrats testés, le mélange SB1 (80% Tourbe + 20% Compost) dévoile une masse volumique apparente (mva) très faible, ce qui est favorable pour remédier aux problèmes d'ancrage des racines, par contre, le compost mature C2 repérant une masse très élevée, est considéré comme substrat très lourd. En outre, ce compost C2 a une faible porosité d'aération (Pa) et une porosité de rétention (Pr) très élevée (substrat rétenteur) par rapport au compost moins mature C1. L'orientation vers des techniques d'ajustement granulométrique et/ou de mélange est une alternative permettant d'améliorer l'équilibre entre porosités d'aération et de rétention au niveau du substrat, particulièrement, lors de la germination des semences et du démarrage de la croissance des plants.

- Pour les paramètres chimiques des substrats confectionnés, le compost C1 a montré un pH acide proche de la neutralité et une salinité relativement faible par rapport à celle du compost C2. Le compost C1 peut être considéré comme substrat quasiment mûr et peut être usagé aisément en culture hors sol. Par ailleurs, les mélanges SB1 et SB2 (80% Tourbe + 20% Compost), SD1 et SD2 (60% Tourbe + 40% Compost), ainsi que SE1 (50% Tourbe + 50% Compost) sont très riches en matière organique. Cette dernière est d'une importance fondamentale pour la fertilité, du fait de ses effets physiques, chimiques et biologiques recherchés, particulièrement, en phase de croissance et de développement des plants.

En tenant compte de l'ensemble des résultats relevés, le CSC, à l'état mature, pourrait constituer partiellement un substrat alternatif à la Tourbe pour la production des plants maraîchers.

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.

Dans l'avenir, des investigations plus poussées méritent d'être accomplies pour affiner davantage les résultats trouvés par la recherche des ressources organiques susceptibles de remplacer partiellement la tourbe importée.

#### 5. Références

1. J.M Guehl, G Falconnet, J Gruez. Annales des Sciences Forestières, **1989**, 46 (1), 1-14.
2. T.D Landis, R.W Tinus, SE. Mc Donald, J.P Barnett. Washington, DC, USA, US Department of Agriculture, Forest Service, **1990**, 119.
3. B Alsanius, P Jensen. Asp H. (éds), Louvain, Belgique, International Society for Horticultural Science, Acta Horticulturae, **2004**, 64, 644.
4. Y M'Sadak, M.A Elouaer, R El Kamel. Revue Bois et Forêts des Tropiques, **2012a**, 313 (3), 61-71.
5. Y Harada, A. Inoko. Soil Sci. Plant Nutr., **1980**, 26, 353-362.
6. A.C Bunt. Media and mixes for container-grown plants: a manual on the preparation and use of growing media for pot plants. Unwin Hyman, London, **1988**, 309.
7. T.H Yeager, D.C Fare, J Lea-Cox, J Ruter, T.E Bilderback, C.H Gilliam, A.X Niemiera, S.L Warren, T.E Whitwell, R.D Wright, K.M Tilt. Best management practices: guide for producing container-grown plants, 2nd ed. Southern Nurserymen's Assoc, Marietta, **2007**, GA
8. WRAP. Waste & Resources Action Programme. The Retailers' Guide to Reducing Peat in Growing Media. **2013**, 16<sup>th</sup> July. UK
9. M.S Lamhamedi, B Fecteau, S Bertrand. Compostage de branches et d'écorces: utilisation dans les pépinières forestières en Tunisie. Rapport technique. Projet Fonds Nordique NIB/NDF. PAMPEV Internationale LTEE, **1999**, 24.
10. M.S Lamhamedi, H Chamberland, P.Y Bernier, F.M Tremblay. Tree Physiol, **2000**, 20, 869-880.
11. Y M'Sadak, A Ben M'Barek, L Tayachi. Nature & Technologie, **2012b**, 6, 59-70.
12. Y M'Sadak, A Ben M'Barek. J. Fundam. Appl. Sci., **2015a**, 7(3), 298-321.
13. Y M'Sadak, A Bouallegue. J. Fundam. Appl. Sci., **2015**, 7(2), 244-259.
14. Y M'Sadak, F Fhima. Revue Agriculture Sétif, **2015**, 10, 31-37.
15. E Nzengue, D Midoko Iponga, Y M'Sadak, G.S Assong Owona, C.R Zinga-Koumba, S Assani, B M'batchi, J.F Mavoungou. International Journal of Innovation and Scientific Research (IJISR). **2016**, 26 (1), 83-94.
16. Y M'Sadak, A Ben M'Barek. Larhyss Journal. **2015b**, 23, 117-138.
17. Wigthman K.E. Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière : directives pratiques pour les pépinières communautaires. Manuel technique. **1999**, 2, 95.
18. AOAC. 'Official methods of analysis', Association of Official Analytical Chemist (AOAC), Washington, DC, 16<sup>ème</sup> Edition, **1990**.
19. P Morard. Les Cultures Végétales Hors Sol, Publications Agricoles Agropôle d'Agen. **1995**, 304.

20. J.Ch Michel. Sciences AGronomiques Appliquées à l'Horticulture (SAGAH), INRA-INH, Université d'Angers, France. **sd**, 7.
21. M Comtois, M Legaré. La Fertilisation des Plantes Ligneuses Cultivées en Contenant, Institut Québécois de Développement de l'Horticulture Ornementale. **2004**, 57.
22. J Hannah. Manuel technique N°3. World Agroforestry Centre (ICRAF), **2006**, 93.
23. Y M'Sadak, A Ben M'Barek. J Fundam Appl Sci., **2016**, 8 (3), 875-893.
24. CPVQ. Pépinières- Culture en Conteneurs- Substrats, Document Technique, Ed. Conseil des Productions Végétales du Québec (CPVQ), Canada, **1993**, 19.
25. M.S Lamhamedi, J.A Fortin, Y Ammari, S Ben Jalloun, M Poirier, B Fecteau, A Bougacha, L Godin. Rapport Technique: Exécution des Travaux d'Aménagement de Trois Pépinières Pilotes en Tunisie, **1997**, 121.
26. C Vallée, G Bilodeau. Institut Québécois du Développement de l'Horticulture Ornementale (IQDHO), **1999**, 70.
27. ISO. Qualité du sol : Détermination du pH et de la CE spécifique. International Standardisation Organisation (ISO), **1994**, 4.
28. S.M Tiquia. Chemosphere, **2010**, 79 (5), 506 – 512.
29. M.C Girard, C Walter, J.C Rémy, J Berthelin, J.L Morel. Sols et Environnement, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Ed. Dunod, Paris, **2011**, 881.
30. S Boudreault. 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 Laval, Québec, Canada, **2010**, 90.
31. M.E Afilal, O Elasri, Z Merzak. J. Mater. Environ. Sci., **2014**, 5 (4), 1160-1169.
32. J.M Clauzel. L'analyse physique du substrat, outil méconnu du producteur hors sol. Bordeaux, Laboratoire d'Analyses et de Conseils Agronomiques, Lettre d'information, **1997**.
33. R Gras R., I Agius. PHM Revue Horticole, **1983**, 234, 11-13.
34. Y M'Sadak, A El Amri, R Majdoub, M Ben Ali. Larhyss Journal, **2014**, 17, 7-20.
35. M Letard, P Erard, B Jean Equin. Ed. CTIFL, Paris, **1994**, 120.
36. M Larbi. Influence de la Qualité des Composts et de leurs Extraits sur la Protection des Plantes contre les Maladies Fongiques, Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, **2006**, 161.
37. M.P Bernal, C Paredes, M.M.A Sanchez J Cegarra. Bioresource Technology. **1998**, 63, 91-99.
38. Alcor et Axenne. Rapport Final de l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables. **2003**, 148-157.
39. Y Ammari, M.S Lamhamedi, N Akrimi A Zine El Abidine. Revue de l'INAT. **2003**, 18 (2), 21.
40. M Sanchez-Monedero, A Roig, J Cegarra, M.P Bernal, P Noguera, M Abad, A Anton. Compost Science & Utilization. **2004**, 12 (2), 161-168.
41. B.A Kratky, H.Y Mishima. Journal of the American Society for Horticultural Science, **1981**, 106 (1), 3-7.
42. F Herrera, J.E Castillo, A.F Chica, L Bellido. Bioresource Technology, **2008**, 99, 287-296.
43. Y. M'Sadak, A Ben M'Barek. Rev. Energ. Ren., **2013**, 16 (1), 33-42.
44. F Tambone, P Genevini, G D'Imporzano, F Adani. Bioresource Technology. **2009**, 100, 3140-3142.
45. J.G Fuchs, U Galli, K Schleiss, A Wellinger. Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC) & Forum Biogaz Suisse, **2001**, 26.
46. M Mustin. Le Compost- Gestion de la Matière Organique, Ed. François Dubusc, **1987**, 954.
47. N Thevenin. Recherche Innovation Transfert de Technologie pour les Matières fertilisantes Organiques. **sd**, 67 diapos.
48. C Francou. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage, Recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de Doctorat, INA Paris-Grignon, France, **2003**, 288.
49. P Malick Sall. Étude du compost et du lixiviat obtenus par Co-compostage des résidus agroalimentaires à la ferme. M. Sc., Université Laval, Québec, Canada, **2014**, 125.
50. M.F Hirai, V Chanyasak, H Kubota. Biocycle. **1984**, 24(6), 54-56.