



## **CARACTERISATIONS PHYSIQUE ET HYDRIQUE DES SUBSTRATS DE CULTURE DES PLANTS FORESTIERS EN CONTENEURS**

***M'SADAK Y., EL AMRI A., MAJDOUB R., BEN ALI M.***

Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel. Université de Sousse.  
Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, BP 47, 4042 Chott Mariem, Tunisie

msadak.youssef@yahoo.fr

### **RESUME**

La production en conteneurs de plants forestiers de qualité aura un impact sur l'établissement, la physiologie et la croissance des plantations, et permettra d'assurer un meilleur succès sur les sites de reboisement. Le développement d'un bon plant dépend en grande partie des propriétés physiques et hydriques du substrat utilisé. Cette étude vise l'évaluation des paramètres physiques et hydriques des composts sylvicoles issus de broyat d'Acacia, produits dans la pépinière forestière moderne de Chott Mariem (Sousse, Tunisie). Il s'agit du compost brut et des tamisats issus du criblage vibrant selon différentes mailles. Les analyses de divers substrats testés ont concerné notamment les porosités (totale, d'aération et de rétention), la masse volumique apparente et la capacité de rétention en eau. Les résultats acquis ont dévoilé que même avec application du criblage, les substrats de croissance mis à l'essai sont majoritairement très aérés et à faible disponibilité en eau, exigeant une fréquence d'irrigation très élevée et à faible dose, ce qui démontre la nécessité de poursuivre la recherche d'un substrat performant garantissant une croissance optimale et équilibrée des plants.

**Mots clés :** Compost sylvicole, Criblage, Substrat de culture, Caractéristiques physiques, Comportement hydrique, Pépinière forestière moderne.

## ABSTRACT

The high quality of containers production plants will affect the establishment, the physiology and the growth of plants, and will ensure a better success in reforestation sites. The development of good plants is largely dependent on the physical and hydraulic properties of the used substrate. This study aims to assess the physical and hydraulic parameters of the forestry compost, derived from crushed Acacia, produced in the modern forest nursery of Chott Mariem (Sousse, Tunisia). This is the crude compost and other sifted and derived from vibrating screening with different meshes. Analyzes of various tested substrates had concerned particularly porosities (total, aeration and retention), dry bulk density and water retention capacity. The obtained results have revealed that even with the application of screening, the tested growth substrates are predominantly highly aerated with low water availability, requiring so a very high frequency of irrigation and low dose, proving the need for further research for an efficient substrate ensuring an optimal and balanced growth of plants.

**Keywords:** Compost forestry, Screening, Substrate culture, Physical Characteristics, Hydraulic behavior, Modern forestry nursery.

## INTRODUCTION

Le reboisement est une stratégie du développement durable qui permet la diminution de la pression sur les forêts naturelles et éventuellement leur conservation, l'atténuation du déficit en produits ligneux et la lutte contre l'érosion des sols et la désertification. La Tunisie, comme d'autres pays de l'Afrique du Nord (Algérie et Maroc) accorde une grande priorité au reboisement, qui s'est traduite par la modernisation des pépinières forestières pour produire des plants de qualité (Lamhamedi et al., 2006). En effet, l'utilisation des plants de qualité a un impact majeur sur l'établissement, la physiologie, la survie et la croissance des plants forestiers, ce qui pourrait garantir un meilleur succès des plantations forestières (Margolis et Brand, 1990). Par ailleurs, Lamhamedi et al. (2006) rapportent que les effets intéressants à court terme, de la production en conteneurs de plants forestiers de haute qualité dans des pépinières modernisées, sont un taux de survie supérieur à la plantation, un meilleur aspect des plants et une croissance plus rapide en plantation, donc une meilleure productivité à moindre coût.

Le bon développement des plants en conteneurs dans de telles pépinières dépend non seulement des caractères génétiques de la plante mais aussi raisonnablement des propriétés physiques et hydriques (capacité de rétention d'eau, plasticité,

densité apparente, etc.), voire, chimiques (fertilité, acidité, pouvoir tampon, etc.) du substrat utilisé.

Pour éviter le recours aux importations des substrats de culture (tourbe, vermiculite, perlite, etc.), le compostage de la biomasse forestière (notamment branches sylvicoles) a été introduit en pépinière forestière (Ammari et al., 2003). Le compostage est de plus en plus pratiqué dans une perspective de production des composts destinés à la confection des substrats de croissance. Ces derniers sont utilisés pour produire des plants tant horticoles que forestiers (Rose et al., 1995 ; Raviv et al., 1998 ; Fitzpatrick, 2001 ; M'Sadak et al., 2012a ; M'Sadak et al., 2012b ; M'Sadak et al., 2013a ; M'Sadak et al., 2013b ; M'Sadak et al., 2013c ; M'Sadak et al., 2013d) en hors sol.

Le compost sylvicole produit, généralement à base de broyat d'Acacia, a un rôle de support, mais pas d'apport en éléments minéraux essentiels à la croissance des plants. Ce substrat n'est pas riche en éléments nutritifs et ne peut pas assurer les besoins lors des différentes phases de croissance des plants (Lamhamedi et al., 2006).

Pour enlever les gros débris non compostés et avoir une bonne texture, le criblage du compost s'avère nécessaire après maturation en vue d'avoir un substrat qui possède de bonnes caractéristiques physico-chimiques notamment la capacité de rétention en eau, la capacité d'échange cationique (Lamhamedi et al., 2006 ; M'Sadak et al., 2012b; M'Sadak et al., 2013b).

Dans cette optique, le présent travail vise l'évaluation des caractéristiques du compost sylvicole brut utilisé dans la pépinière forestière moderne de Chott Mariem (PFM) et des tamisats issus de son criblage mécanique vibrant, selon diverses techniques et méthodes, sur les plans physique et hydrique. La PFM de Chott Mariem fait appel au compostage des branches d'Acacia cyanophylla (après un double broyage séparé à l'aide successivement d'un broyeur simple à couteaux et d'un broyeur simple à marteaux) et à la valorisation du compost sylvicole produit (à l'état brut ou criblé selon la granulométrie recherchée) comme substrat de croissance pour la production des plants forestiers en conteneurs.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Substrats testés**

Douze substrats de culture ont été élaborés et analysés à propos de leurs propriétés physiques et hydriques. Il s'agit des substrats préparés et issus de criblage du compost sylvicole brut par le crible vibrant de la pépinière forestière moderne de Chott Mariem, en utilisant trois mailles carrées interchangeable (6 mm x 6 mm,

8mm x 8 mm et 12 mm x 12 mm) pour permettre de tester diverses possibilités quant aux techniques (simple, double ou triple criblage) et aux méthodes (double ou triple criblage sur tamisat, double ou triple criblage sur refus). La procédure de criblage du compost sylvicole produit a une influence significative sur son indice de maturité ainsi que sur ses caractéristiques physico-chimiques (M'Sadak et al. 2012b). Les substrats testés (à l'état criblé ou non) sont présentés dans le tableau 1 qui suit.

**Tableau 1** : Substrats de culture mis à l'essai

Echantillon	Substrat	Description
S1	CSB	-
S2	SC	Maille 6
S3	DCT	Tamisat Maille 8 sur Maille 6
S4	DCT	Tamisat Maille 12 sur Maille 6
S5	TCT	(Tamisat Maille 12 sur Maille 8) sur Maille 6
S6	SC	Maille 8
S7	DCT	Tamisat Maille 12 sur Maille 8
S8	DCR	Refus Maille 6 sur Maille 8
S9	SC	Maille 12
S10	DCR	Refus Maille 8 sur Maille 12
S11	DCR	Refus Maille 6 sur Maille 12
S12	TCR	(Refus Maille 12 sur Maille 8) sur Maille 6

*CSB* : Compost Sylvicole Brut, *SC* : Simple Criblage, *DCT* : Double Criblage sur Tamisat ; *TCT* : Triple Criblage sur Tamisat ; *DCR* : Double Criblage sur Refus ; *TCR* : Triple Criblage sur Refus.

### Propriétés physiques et hydriques

La bonne connaissance des caractéristiques physico-chimiques et hydriques du substrat de culture permet d'expliquer et de prévoir le transfert des éléments minéraux entre phase solide et solution nutritive, en particulier, lorsque le milieu est physico chimiquement actif (Lemaire et al. 1989). Pour chaque type de substrat, les paramètres physiques des substrats considérés dans cette étude concernent :

- Les porosités totales (Pt) (l'espace total n'étant pas occupé par la matière), d'aération (Pa) (les espaces majeurs qu'occupe l'air, dénommée macroporosité) et de rétention (Pr) (les espaces mineurs qu'occupe l'eau retenue par le compost ou le substrat, appelée microporosité), déterminées par l'application du Test standard de porosité (Lamhamedi et al. 2006).

Signalons que les conditions tunisiennes sollicitent usuellement les proportions de porosité suivantes : Porosité totale : Pt 50%, Porosité d'aération : Pa 20% et Porosité de rétention : Pr 30 %. Ces mesures à respecter ont été inspirées des normes canadiennes (CPVQ 1993) en favorisant la rétention sur l'aération, en raison du climat sec de la Tunisie. Les tests physiques ont été accomplis, une fois le compost mature et sur compost ou substrat complètement sec (Lamhamedi et al. 2006).

- La masse volumique apparente sèche ( $\rho_a$ ) : La mesure de ce paramètre a été exécutée pour tous les substrats retenus. Elle consiste à mettre les échantillons dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures pour déterminer la masse sèche (Miller & Jones 1995). La masse volumique apparente ( $\rho_a$ ) est exprimée par la formule suivante :

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

$M_s$  = Masse de l'échantillon sec (g),  $M_c$  = Masse de la capsule vide (g).  
 $V$  = Volume de la capsule : 100 cc.

On dispose de la règle d'appréciation ci-après pour la comparaison des résultats relevés (Clauzel, 1997).

$$0,08 < \rho_a \text{ (g/cm}^3\text{)} < 0,40$$

Les paramètres hydriques sont :

- Le potentiel hydrique (pF) : des courbes de pF ont été établies à partir des mesures effectuées au laboratoire des Systèmes de Production Oléicole et Fruitière de l'Institut de l'Olivier (Station de Sousse) avec deux répétitions. Les échantillons de substrats ont été mis en contact avec une colonne d'eau par l'intermédiaire d'une couche de sable saturée d'eau (Table à succion à sable). Le potentiel hydrique ou énergétique de l'échantillon se met en équilibre avec la pression hydrostatique de la colonne d'eau. Après saturation, chaque échantillon est soumis à une succion qui correspond à un pF donné. Les pF retenus sont zéro (-1 mbar), 1 (-10 mbar), 1,7 (-50 mbar) et 2 (-100 mbar). La courbe pF est un indicateur spécifique des propriétés hydriques d'un substrat (Lemaire et al. 1989). La majorité des techniques d'analyse utilise le concept de la courbe pF pour caractériser hydriquement un substrat (Mongondry 1996). Cette courbe n'est autre que la relation entre le potentiel hydrique du substrat et sa teneur en eau volumique.

Volume d'eau pour chaque pF =  $[(M_{pF} - M_v - M_s) / V] \times 100$  (Rose et al., 1995)

$M_{pF}$  = Masse de l'échantillon pour chaque pF,  $M_v$  = Masse de la capsule vide,  $M_s$  = Masse de la matière sèche de l'échantillon après séchage à 105°C pendant 24 heures,  $V$  = Volume de la capsule : 100 cc.

- La porosité totale (PT) estimée indirectement par application de la formule de Gras (Gras & Agius, 1983) :

$PT(\%) = 95,83 - 32,43 \dots_a$  avec  $\dots_a$  : masse volumique apparente.

- Les teneurs en eau et en air au potentiel énergétique pF1. La teneur en air est déterminée comme suit :  $Pa(\%) = PT - Pe$  avec  $Pe$  : teneur en eau à pF1. La disponibilité en eau (DE) n'est autre que l'eau facilement disponible. Elle est déduite à partir de la relation ci-après.

$$DE = (pF\ 1 - pF\ 2) \times 100$$

pF 1 : correspond à une humidité proche de la capacité en bac, pF 2 : valeur à laquelle l'arrosage est déclenché.

- Des paramètres de gestion de l'arrosage (dose et durée) des plants ont été également évalués. Afin d'apprécier de façon appropriée les substrats testés, il est important de rappeler les caractéristiques optimales recherchées pour un substrat de culture (Morel et al. 2000).

- Porosité totale > 88%
- Porosité de l'air à pF1 = 20 à 30%
- Capacité de rétention en eau à pF1 = 55 à 70%
- Eau facilement disponible (pF1 – pF2) = 20 à 30%.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Evaluation directe des porosités à partir du test standard

Le rajustement granulométrique du compost sylvicole par diverses mailles selon différentes techniques et méthodes de criblage s'est révélé intéressant. En outre, et pour garantir une production de plants de qualité, les propriétés physiques du compost utilisé comme substrat de culture devront être satisfaisantes (Landis 1990, Alsanus et Jensen 2004). Les résultats acquis dévoilent bien les possibilités d'emploi du compost sylvicole à l'état brut ou criblé pour une meilleure composition physique (déterminée notamment par trois porosités, à savoir : totale, d'aération et de rétention) des substrats destinés à produire des plants en pépinière forestière.

La figure 1 illustre l'évolution des porosités totale, d'aération et de rétention des douze substrats de croissance étudiés.

Dans les conditions expérimentales adoptées, à propos de la porosité totale, le compost sylvicole brut ainsi que la totalité des tamisats testés issus du criblage vibrant répondent à la norme considérée de la porosité totale des substrats de culture ( $Pt \geq 50\%$ ). Par contre, pour la porosité d'aération, les substrats S2 et S4 possèdent des porosités relativement faibles qui ne respectent pas la norme

(Pa = 20%) ; elles sont de 19,8 et 19,2%, de façon respective. De tels résultats montrant que ces deux substrats présentent un problème d'aération, et par ce fait, le criblage mis en œuvre est à déconseiller. Quant à la porosité de rétention, le compost sylvicole brut S1 et les tamisats S11 et S12 attestent un problème de rétention d'eau avec des porosités inférieures à la norme (Pr = 30%), le reste des tamisats testés répondent tous à la norme de porosité.

Une comparaison des porosités selon les techniques et les méthodes de criblage testées a permis de dégager les constatations suivantes :

- Dans le cas du simple criblage vibrant du compost sylvicole brut, le criblage à la Maille 6 (S2) est à éviter. Par contre, les deux autres criblages à la Maille 8 (S6) ou à la Maille 12 (S9) sont préconisés, étant donné leur porosité convenable en plus des économies d'énergie et de temps qu'ils occasionnent comparativement aux opérations du double et du triple criblage. Toutefois, il est recommandé de tester le criblage à la Maille 10, qui semble la mieux convenable pour ajuster la granulométrie du compost considéré,
- Dans le cas du double criblage, les substrats à éviter sont S4 préparé sur tamisat et S11 préparé sur refus, et
- Dans le cas du triple criblage, la préparation du substrat S12 n'est pas conseillée.

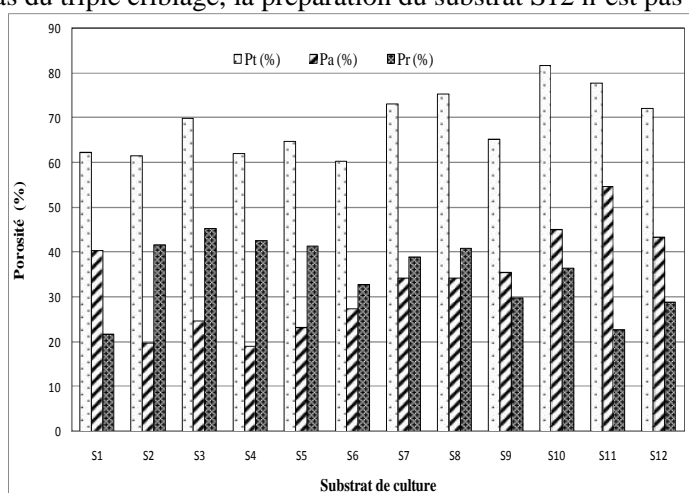


Figure 1 : Porosités totale, d'aération et de rétention des substrats

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

en oxygène, au niveau du substrat est indispensable, car les racines ont besoin de l'oxygène pour la respiration et la croissance. Selon Hannah (2006), un contenu en oxygène supérieur à 12% dans le substrat ralentit l'apparition de nouvelles racines. Des niveaux de 5 et 10% sont très bas pour la croissance des racines établies et à des niveaux en dessous de 3%, les racines ne se développent pas et finissent par flétrir. Des valeurs souhaitables de porosité totale qui maintiennent des niveaux d'oxygène au-dessus de 12% sont environ 50-80% par volume.

Finalement, on peut affirmer que pour pouvoir produire un plant forestier 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.

### Evaluation de la masse volumique apparente sèche

La phase solide du substrat peut être approchée par sa masse volumique et sa densité. Ici, le substrat S1 est le plus lourd avec une masse volumique apparente maximale, du fait qu'il présente le degré de compactage le plus important. En contre partie, le substrat S11 possède la masse volumique apparente la plus faible favorable pour les problèmes d'ancrage des racines (figure 2). Globalement, il s'agit des substrats légers avec des masses volumiques apparentes variant de 0,117 à 0,152 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 forestiers en conteneurs (figure 2).

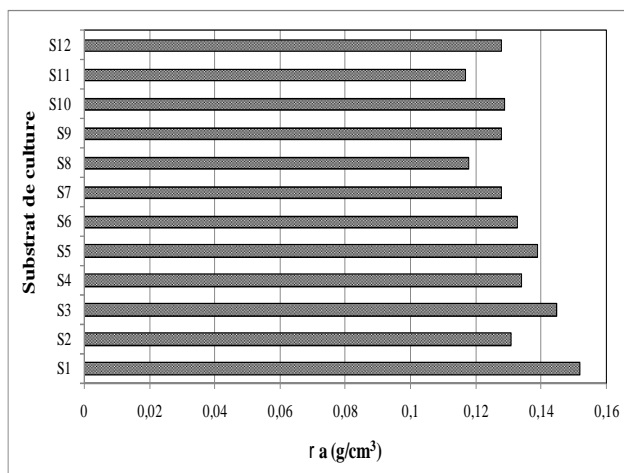


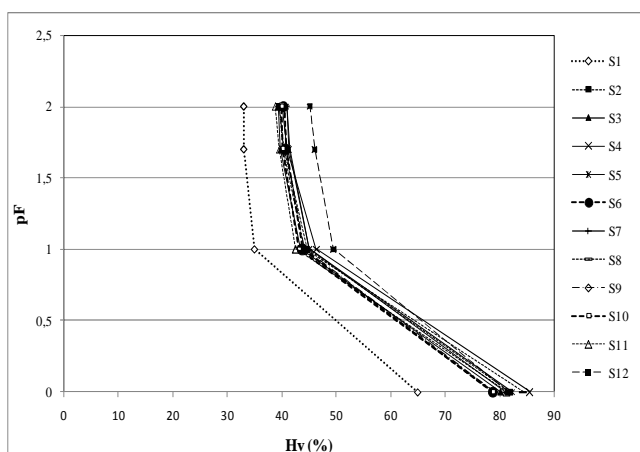
Figure 2 : Masse volumique apparente des substrats



Clauzel (1997) rapporte que plus la masse volumique apparente est faible, plus la porosité est forte, ce qui est quasiment adéquat avec les résultats relevés. Selon Lamhamedi et al. (1997), la masse volumique apparente augmente la résistance mécanique du substrat. Une telle résistance a des effets directs sur la croissance et la morphologie des racines des plants produits.

### Appréciation du potentiel énergétique

La connaissance du comportement énergétique de l'eau dans un substrat donné permet le maintien d'un potentiel aussi élevé que possible assurant une alimentation en eau optimale (Lemaire et al. 1989). La figure 3 illustre la courbe caractéristique d'humidité (potentiel énergétique, pF, en fonction de l'humidité volumique Hv) de chaque substrat essayé. Cette dernière révèle que l'humidité volumique varie peu vis-à-vis la variation du pF dans l'intervalle pF1 – pF2 (pF1 correspond à -10 mbar et pF2 à -100 mbar), ce qui montre qu'il s'agit des supports de culture à faible disponibilité en eau. De plus, tous les substrats présentent des courbes d'humidité très rapprochées, à l'exception de S1 et S2. Le substrat de culture S1 dévoile un décalage prouvant sa faible teneur en eau comparativement aux autres substrats. Par contre, S2 présente un décalage montrant une humidité volumique plus importante dans la gamme de succions élevées (Figure 3).



**Figure 3 :** Taux d'humidité et potentiels énergétiques correspondants des substrats

### Evaluation indirecte de la porosité totale et des teneurs en air et en eau à partir de la courbe pF

Les résultats des analyses réalisées ont montré que la totalité des substrats testés ont une porosité totale acceptable, se situant entre 90,9 et 92,0%, qui respecte la valeur théorique optimale d'un support de culture qui est fixée au minimum à 88% (Morel et al. 2000). Pour la teneur en air (Tableau 2), les substrats sont considérés très aérés, étant donné les fortes valeurs observées qui varient de 42,3 à 55,8%, comparativement à la norme (20 à 30%).

L'ensemble des résultats dévoilent que les substrats étudiés sont très aérés et à faible réserve en eau, ce qui nécessitera des irrigations à dose faible avec une fréquence élevée, et donc un procédé d'irrigation précis et homogène. Ces conditions sont rarement remplies en pépinière.

**Tableau 2 :** Propriétés physiques et hydriques des substrats testés

Echantillon	Porosité totale (PT) (%)*	Teneur en eau à pF1 (%)	Teneur en air à pF1 (%)
S1	90,9	2,0	55,8
S2	91,6	5,1	46,9
S3	91,1	4,1	47,6
S4	91,5	6,2	45,1
S5	91,3	4,1	46,2
S6	91,5	3,4	47,6
S7	91,7	4,1	46,7
S8	92,0	4,6	47,9
S9	91,7	3,7	47,6
S10	91,6	3,2	48,4
S11	92,0	3,7	49,5
S12	91,7	4,2	42,3

\*pF1 (-10 mbar)

### Estimation de la dose et de la durée d'arrosage des plants

L'eau disponible pour chacun des substrats testés permet d'évaluer les doses stricte et maximale d'irrigation permettant d'exploiter le réservoir hydrique du substrat d'une façon adéquate et de garder une marge de teneur en eau en cas de besoin sans prendre le risque de pénaliser la croissance des plants en place.

Avec le procédé d'irrigation par aspersion, adopté dans la PFM Chott Mariem, moyennant des asperseurs de débit 229,6 l/h, disposés selon un patron d'arrosage carré (8 m x 8 m), la durée d'arrosage pour chacun des substrats expérimentés est présentée sur la figure 4. Cette dernière montre que les plus faibles doses et durée d'arrosage sont affectées au compost sylvicole brut S1 utilisé comme substrat de culture dans la PFM Chott Mariem. Cette dernière adopte une durée d'une heure, dépassant ainsi le temps nécessaire pour apporter la dose maximale qui est estimée à 33 mn. L'excès d'eau occasionne des pertes par drainage estimées à 1,61 l/m<sup>2</sup>, correspondant à 45% de la quantité d'eau apportée.

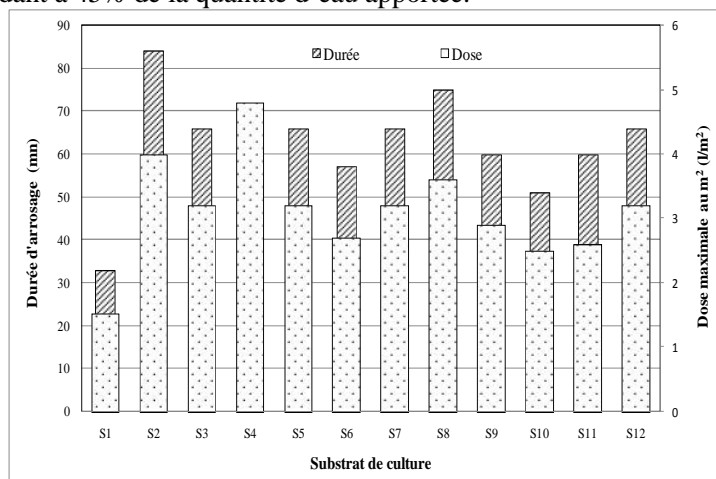


Figure 4 : Dose maximale et durée d'arrosage pour chaque substrat

## CONCLUSION

Les pépinières forestières modernes aménagées ces dernières années en Tunisie, se sont dirigées complètement vers la substitution du terreau forestier par le compost sylvicole, produit localement en pépinière, à partir du broyat des branches d'Acacia. Cette expérience réussie met la Tunisie en situation de pionnière en matière de transfert de technologies et du savoir faire concernant la rénovation du secteur des pépinières forestières, pastorales et ornementales.

La qualité du substrat de culture est l'un des éléments les plus importants parmi ceux qui ont une incidence sur la croissance des plants forestiers en hors sol. D'un point de vue strictement agronomique, les substrats de culture à base de compost, constituent des matériaux quasiment inéluctables, destinés pour l'usage sylvicole, en raison essentiellement de leurs propriétés physiques, favorables au développement racinaire des plants installés. Par ailleurs, l'analyse hydrique d'un

substrat est un complément pratiquement indispensable pour l'appréciation de son comportement physique lors de l'évaluation directe du comportement des substrats de culture hors sol.

Le travail expérimental entrepris s'est intéressé à une tentative d'optimisation physico-hydrigue du compost sylvicole, produit au niveau de la pépinière forestière moderne de Chott-Mariem-Sousse, en variant sa granulométrie par différentes techniques (simple, double ou triple) et différentes méthodes (sur refus ou sur tamisat) de criblage, en vue de mettre au point un substrat à base de tamisat sylvicole adéquat pour l'élevage en conteneurs des plants forestiers.

Les résultats des contrôles expérimentaux, visant l'évaluation des propriétés physiques et hydriques du compost sylvicole brut et des tamisats issus du criblage vibrant appliqué, ont montré que la plupart de ces derniers présente une forte porosité d'aération, une faible teneur en eau et une faible disponibilité en eau. Donc, les substrats testés peuvent être classés comme très aérés et à faible disponibilité en eau, exigeant ainsi des doses d'arrosage faibles et à forte fréquence. De ce fait, il convient de bien raisonner le traitement physique à adopter pour le compost (criblage et/ou broyage d'affinage selon différentes techniques) en vue d'avoir un substrat particulièrement adéquat de point de vue ajustement granulométrique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALSANIUS B., JENSEN P. (2004). As H. Proceedings of the International Symposium on Growing media and Hydroponics. Acta Horticulturae. Belgique: International Society for Horticultural Science, p.644.
- 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 des plants en pépinières forestières modernes. Revue de l'I.N.A.T. 18 (2) : 99-119.
- CLAUZEL J.M. (1997). L'analyse physique du substrat, outil méconnu du producteur hors sol. Bordeaux, Laboratoire d'analyses et de conseils agronomiques, Lettre d'information, 1997.
- CPVQ (1993). Pépinière- Culture en conteneurs- Substrats. Document Technique, Conseil des Productions Végétales du Québec, Canada, 19 p.
- FITZPATRICK G.E. (2001). Compost utilization in ornamental and nursery crop production systems. In: Compost utilization in horticultural cropping systems. Lewis Publishers, 135-150.
- GRAS R., AGIUS I. (1983). Quelques propriétés physiques des substrats horticoles, PHM Revue Horticole, (234), 11-13.

- HANNAH J. (2006). Bonnes pratiques de culture en pépinières forestières : Directives pratiques pour les pépinières de recherche. Manuel technique n°3. World Agroforestry Centre (ICRAF), 93 p. [www.worldagroforestry.org/downloads/.../mn14474.pdf](http://www.worldagroforestry.org/downloads/.../mn14474.pdf)
- LAMHAMED M.S., ANDRE FORTIN J., AMMARI Y., BEN JELLOUN S., POIRIER M., FECTEAU B., BOUGACHA A., GODIN L. (1997). Evaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants élevés en conteneurs, ed. Direction Générale des Forêts et Pampev International Ltée, Canada, Projet Bird N° 3601, Tunis, 121 p.
- LAMHAMED M.S., FECTEAU B., GODIN L., GINGRAS CH., EL AINI R., GADER GH., ZARROUK M.A. (2006). Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. *Projet : ACDI E4936-K061229*. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Canada, 114 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/.../forets/.../Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/.../forets/.../Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf).
- LANDIS T.D. (1990). Growing media. In: Containers and growing media. Vol 2. Agriculture-Handbook. 674. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, 41-85.
- LEMAIRE F., DARTIGUES A., Rivière L.M., Charpentier S. (1989). Cultures en pots et conteneurs : Principes Agronomiques et Applications. Ed. INRA, Paris, France, 210 p.
- M'SADAK Y., ELOUAER M.A., EL KAMEL R. (2012a). Comportement physique des composts, des tamisats et des mélanges pour une meilleure exploitation en pépinière: Caractérisation physique des composts bruts, criblés et en mélange. e-Revue de Génie Industriel [en ligne], Numéro 8, 16 Août 2012. ISSN 1313-8871. <http://www.revue-genie-industriel.info/document.php?id=1607>.
- M'SADAK Y., ELOUAER M.A., EL KAMEL R. (2012b). Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière, Revue Bois et Forêts des Tropiques (BFT), N° 313 (3) : 61-71. ISSN 0006-579X. [bft.cirad.fr/revues/notice\\_fr.php?dk=566986](http://bft.cirad.fr/revues/notice_fr.php?dk=566986).
- M'SADAK Y., ELOUAER M.A., EL KAMEL R. (2013a). Évaluation du comportement chimique des composts, des tamisats et des mélanges élaborés pour la conception des substrats de culture- Revue Nature & Technologie, Janvier 2013, Numéro 8 (C) : 54-60. ISSN 1112-9778. [www.univ-chlef.dz/revuenatec/Art\\_08\\_C\\_08.pdf](http://www.univ-chlef.dz/revuenatec/Art_08_C_08.pdf)
- M'SADAK Y., ELOUAER M.A., DHAHRI M. (2013b). Caractérisation physique des substrats de croissance pour une meilleure adaptation à la filière horticole en Tunisie- Revue Nature & Technologie, Juin 2013, Numéro 9 (B) : 27-34. ISSN 1112-9778. [www.univ-chlef.dz/revuenatec/Issue\\_09\\_Art\\_B\\_05.pdf](http://www.univ-chlef.dz/revuenatec/Issue_09_Art_B_05.pdf)

- M'SADAK Y., SAAD I., SAIDI D. (2013c). Suivi et analyse thermiques du processus de Co-compostage sylvicole dans une pépinière forestière moderne, *Journal of Fundamental and Applied Sciences (JFAS)*, Juin 2013 : Vol. 5 No 1, 1-12. ISSN : 1112-9867. [jfas.info/index.php/JFAS/article/view/94](http://jfas.info/index.php/JFAS/article/view/94)
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., TAYACHI L. (2013d). Comportement des plants d'Acacia installés sur des substrats à base de compost sylvicole avec ou sans méthacompost avicole dans une pépinière moderne en Tunisie- *Journal of Fundamental and Applied Sciences (JFAS)*, Juin 2013 : Vol. 5 No 1, pp. 38-50. ISSN : 1112-9867. [jfas.info/index.php/JFAS/article/view/95](http://jfas.info/index.php/JFAS/article/view/95)
- MARGOLIS H.A., BRAND D.G. (1990). An ecophysiological basis for understanding plantation establishment, *Can. J. For. Res.* 20: 375-390.
- MILLER J. H., JONES N. (1995). Organic and compost-based growing media for tree seedlings nurseries, World Bank technical paper, n° 264.
- MONGONDRY C. (1996). Méthodes d'analyse des supports de culture horticoles. Etude critique des projets de normes, Mémoire de fin d'études MST Université d'Angers.
- MOREL P., PONCET P., RIVIERE L.M. (2000). Les supports des cultures horticoles : Les matériaux complémentaires et alternatifs à la tourbe, Ed. INRA, Paris, France, 84 p.
- RAVIV M. ZAIMAN B.Z., KAPULNICK Y. (1998). The use of compost as peat substitute for organic vegetable transplants production, *Compost Science and utilization.* 6 (1): 46-52.
- ROSE R., HAASE D.L., BOYER D. (1995). Organic matter management in forest tree nurseries: theory and practice, Corvallis OR, Etats-Unis, Nursery Technology Cooperative, Oregon State University, 67 p.