

Production de plants d'arganier (*Argania spinosa*) au Maroc : choix du conteneur et du substrat

Abderrahim FERRADOUS¹

Mohamed HAFIDI²

Mohamed ALIFRIQUI²

Ahmed OUHAMMOU²

¹ Centre de la recherche forestière du Maroc
Centre régional de la recherche forestière
Km 2,5 circuit de la Palmeraie
Marrakech
Maroc

² Université Cadi Ayyad Marrakech
Faculté des sciences Semlalia
Laboratoire écologie et environnement
Unité associée au CNRST, URAC 32
Boulevard Prince My Abdellah
BP 2390, 40000 Marrakech
Maroc



Photo 1.
Arganeraie de Rbai à une vingtaine de kilomètres à l'est de la ville d'Essaouira.
Photo A. Ferradous.

RÉSUMÉ

PRODUCTION DE PLANTS D'ARGANIER (*ARGANIA SPINOSA*) AU MAROC : CHOIX DU CONTENEUR ET DU SUBSTRAT

Dans le but d'obtenir des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) de bonne qualité en pépinière, huit types de conteneurs et trois substrats hors-sol (compost de branches broyées d'*Acacia cyanophylla*, compost de déchets d'extraction de graines de *Tetraclinis articulata*, tourbe commerciale) mélangés avec du terreau forestier dans des proportions différentes ont été testés. L'analyse physico-chimique des substrats a montré que les deux composts produits localement sont les mieux indiqués pour la production de plants d'arganier de bonne qualité. Ces substrats peuvent représenter une alternative aux substrats à base de tourbe, importés et coûteux. Le compost de branches d'*Acacia cyanophylla* peut être produit de manière satisfaisante pour répondre aux besoins des pépinières forestières locales. L'évolution des paramètres morphologiques et l'analyse effectuée sur les plants après un séjour de sept mois en pépinière ont montré que le conteneur de 400 ml est satisfaisant pour produire des plants d'arganier d'une qualité proche de celle obtenue avec les sachets en polyéthylène de 800 ml. Ces résultats constituent une première étape pour maîtriser les techniques de production de plants dans des conteneurs hors-sol, pour l'arganier ou d'autres espèces autochtones marocaines. Il conviendrait d'étudier d'autres aspects de la production de plants dans les pépinières marocaines, telles l'irrigation, la fertilisation ou la mycorhization. Des essais de plantation sont envisagés pour confirmer les résultats de cette étude.

Mots-clés : arganier, *Argania spinosa*, plant, conteneur, substrat, pépinière, compost, tourbe, Maroc.

ABSTRACT

PRODUCTION OF *ARGANIA SPINOSA* SEEDLINGS IN MOROCCO: CHOOSING THE RIGHT CONTAINER AND SUBSTRATE

To obtain high quality argan seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels) in the nursery, eight types of containers and three different substrates for off-ground cultivation (shredded composted branches of *Acacia cyanophylla*, composted hulls of *Tetraclinis articulata* seeds, commercial peat) mixed with leaf mould in different proportions were tested. Physico-chemical analysis of the substrates showed that the two locally produced types of compost were better indicated for the production of high quality argan seedlings. These substrates could be an alternative to costly, imported peat-based substrates. Compost can be produced satisfactorily from shredded *Acacia cyanophylla* branches to meet the needs of local tree nurseries. Changes in morphological parameters and analyses of the seedlings after seven months in the nursery showed that a 400 ml container is suitable for the production of argan seedlings of similar quality to that obtained with 800 ml polythene bags. These results are a first step towards mastering techniques for off-ground production of argan seedlings and other indigenous Moroccan tree species. Further study would be needed on other aspects of seedling production in Moroccan nurseries, such as irrigation, fertilisation and mycorrhization. Trial plantations are under consideration to confirm the results of this study.

Keywords: argan tree, *Argania spinosa*, seedling, container, substrate, nursery, compost, peat, Morocco.

RESUMEN

PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE ARGÁN (*ARGANIA SPINOSA*) EN MARRUECOS: ELECCIÓN DEL CONTENEDOR Y DEL SUSTRATO

Se probaron ocho tipos de contenedores y tres sustratos sin suelo (compost de ramas trituradas de *Acacia cyanophylla*, compost de residuos de extracción de semillas de *Tetraclinis articulata* y turba comercial) mezclados con distintas proporciones de mantillo de bosque con el fin de obtener plantas en vivero de argán (*Argania spinosa* L. Skeels) de buena calidad. El análisis físico-químico de los sustratos reveló que los dos compost producidos localmente son los más adecuados para la producción de plantas de argán de buena calidad. Estos sustratos pueden constituir una alternativa a los elaborados con turba: importados y caros. El compost de ramas de *Acacia cyanophylla* puede producirse satisfactoriamente para dar respuesta a las necesidades de los viveros forestales locales. La evolución de los parámetros morfológicos y el análisis realizado en las plantas, tras un período de vivero de siete meses, mostraron que el contenedor de 400 ml es adecuado para producir plantas de argán con una calidad que se aproxima a la lograda con bolsas de polietileno de 800 ml. Estos resultados suponen un primer paso en el dominio de las técnicas de producción de plantas, tanto de argán como de otras especies autóctonas marroquíes, en contenedores sin suelo. Sería conveniente estudiar otros aspectos de la producción de plantas como el riego, la fertilización o la micorrización en los viveros de Marruecos. Se está estudiando la realización de ensayos de siembra para confirmar los resultados de este estudio.

Palabras clave: argán, *Argania spinosa*, planta de vivero, contenedor, sustrato, vivero, compost, turba, Marruecos.

Introduction

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) s'étend dans le Sud-Ouest marocain sur une superficie de 828 300 ha presque continue. C'est un arbre endémique d'une importance socio-économique et écologique de premier ordre (M'Hirit *et al.*, 1998). Malheureusement, l'arganaie subit une forte dégradation estimée à au moins 2 000 ha par an, sous l'effet de l'agriculture intensive, des droits de jouissance spécifiques à cette formation végétale, et surtout de l'absence de régénération naturelle (El Yousfi, 1988).

L'une des voies préconisées pour remédier à ce problème est la régénération artificielle. L'arganier peut être multiplié par semis ou végétativement (Nouaim *et al.*, 2002 ; Alouani, 2003 ; Bellefonaine *et al.*, 2010). La mise en germination des noix d'argan ne présente pas de difficultés particulières. Si les graines sont récoltées après maturation sur des arbres en peuplement, on peut obtenir pour certains lots des taux de germination de 100 % (Ferradous, 2008). Nouaim *et al.* (2002) ont montré qu'une sélection d'arbres-mères avec des graines fraîchement récoltées, ayant une coque mince, peut améliorer considérablement les pourcentages de germination.

Au Maroc, les services des Eaux et Forêts produisent annuellement plus d'un million de plants d'arganier (El Yousfi, 2007). La qualité des plants est cependant loin d'être maîtrisée. Jusqu'au milieu des années 1990, les plants d'arganier ont été produits dans les pépinières forestières dans des mottes de terre locale pressées, avec des taux de reprise quasi nuls (Nouaim, 1994). Les mottes ont ensuite été remplacées par des sachets en polyéthylène, avec plus de succès dans certains périmètres de reboisement, notamment à Tifaddine, dans la région de Tiznit, au sud-est du Maroc (Defaa *et al.*, 2011). Des essais fructueux d'introduction de l'arganier hors de son aire de répartition ont été bien documentés en Syrie (Nouaim *et al.*, 1994), en Israël (Nerd *et al.*, 1998), en Algérie (Kéchaïri et Abdoun, 2013) et au Koweït (Al-Menaïe et Al-Shatti, 2013). L'arganier, aussi bien en pépinière qu'après transplantation en plein champ, est très dépendant de la mycorhization pour sa croissance et sa nutrition minérale (Nouaim et Chaussod 1994, 1997 ; Nouaim *et al.*, 2002 ; Boussemame *et al.*, 2002 ; Echairi *et al.*, 2008 ; El Mrabet *et al.*, 2014). Le faible usage de la mycorhization dans les pépinières forestières marocaines expliquerait en partie les échecs de reprise lors des plantations.

Au Maroc, le recours par les services forestiers à la production hors-sol de plants en conteneurs rigides a conduit à étudier la conformité des plants d'arganier à cette technique. Le Centre de recherche forestière du Maroc a développé un programme de recherche pour étudier les aspects (conteneurs, substrats, irrigation, fertilisation, mycorhization) de la production de plants d'arganier selon cette même technique.

Ce travail de recherche, qui constitue la première étape de ce programme, s'est fixé pour objectifs, d'une part, d'identifier les conteneurs rigides, en surélévation avec ouverture basale, les plus adaptés, et, d'autre part, de rechercher des mélanges de substrats permettant l'obtention de plants d'arganier de qualité supérieure et, dès lors, capables de surmonter le stress de plantation dans les régions arides du Sud du Maroc.

Matériel et méthodes

Graines utilisées et conduite des essais

Les graines d'arganier utilisées ont été récoltées sur un même arbre originaire de la région d'Aoulouz (30°37'13,1" N, 08°06'35,2" O). Les graines ont été trempées pendant 48 heures dans de l'eau courante et ont subi une scarification dans des sacs de jute gorgés d'eau et recouverts de film plastique pendant une à deux semaines, jusqu'à éclatement de la coque et apparition de la radicule. Elles ont ensuite été transférées dans des conteneurs remplis de substrat. La fertilisation a été assurée de manière hebdomadaire avec une solution d'engrais de type 20-20-20 à 100 ppm d'azote, à hauteur d'environ 100 mg d'azote par plant durant toute la période de croissance (Ferradous, 2008).

Conteneurs utilisés

Les conteneurs testés étaient les suivants :

- conteneur de 300 ml (plaques de 50 alvéoles) ;
- conteneur de 400 ml (plaques de 38 alvéoles) ;
- conteneur de type WM de 550 ml (plaques de 12 alvéoles) ;
- conteneur ajouré du type 350-25 de 350 ml (plaques de 25 alvéoles) ;
- conteneur Rigui-pot de 650 ml (plaques de 12 alvéoles) ;
- conteneur individuel de type WM en deux pièces emboîtées de 550 ml ;
- conteneur individuel de type WM en deux pièces emboîtées de 650 ml (Riedacker, 1978) ;
- sachet en polyéthylène de 800 ml.



Photo 2.

Plants d'arganier produits en pépinière du Centre régional de la recherche forestière de Marrakech au Maroc.
Photo A. Ferradous.

Matériaux utilisés pour le substrat de culture

Les matériaux utilisés pour réaliser les mélanges de substrats étaient de quatre types :

- ailes de graines de thuya (*Tetraclinis articulata*) composées (compost T, noté CT) ; après extraction des graines des cônes à la Station des semences de Marrakech, les ailes des graines qui représentent une partie des déchets de cette opération ont subi un cycle de compostage de quatre mois avec des retournements réguliers jusqu'à maturation du compost ;
- broyat composté de branches d'*Acacia cyanophylla* (compost A, noté CA) ;
- tourbe de sphaigne noire commercialisée sous la marque Kekkila TSM 3W, de pH 5,9 et enrichie par un engrais NPK 15-5-24 à raison de 1,5 kg/m³ ;
- terreau forestier récolté dans la réserve zoologique de Rmila, à une dizaine de kilomètres au nord de Marrakech (31°77'23,1" N, 07°81'38,5" O).

Le tableau I présente les mélanges de substrats et les conteneurs étudiés lors des deux essais.

Essais réalisés

Les essais ont porté sur le comportement des plants d'arganier élevés sur différents mélanges terreau-compost d'*Acacia cyanophylla* selon un dispositif en split plot avec 2 980 plants (essai 1) et sur le comportement des plants d'arganier élevés sur deux types de mélanges, terreau-compost et terreau-tourbe, selon un dispositif en randomisation totale avec 2 384 plants. Le détail des essais est reporté dans le tableau I.

Suivi analytique

Analyse des substrats de culture

Pour chaque mélange de substrats, trois échantillons ont été récoltés pour déterminer les différents paramètres. Le pH a été mesuré dans une suspension composée de 10 ml de substrat et 20 ml d'eau distillée. La conductivité électrique a été mesurée par un conductimètre dans une suspension composée de 10 ml de substrat et 40 ml d'eau distillée. La teneur en carbone organique a été déterminée par oxydation à froid, en utilisant le bichromate de potassium en milieu acide. L'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldahl. Le phosphore assimilable a été extrait selon la méthode Olsen. Le magnésium (Mg) et le potassium (K) échangeables ont été extraits avec de l'hexamétophosphate de sodium (Anne, 1945 ; Olsen *et al.*, 1954 ; Bremner, 1960).

Ont également été mesurés, selon la méthode utilisée et décrite par Lamhamedi *et al.* (2006), les caractères physiques suivants : densité apparente, porosité totale, porosité d'aération et pourcentage de rétention d'eau, la porosité d'un substrat représentant les espaces qui ne sont pas occupés par les particules.

Suivi de paramètres de croissance et analyse minérale

Après un séjour de huit mois en pépinière, 20 plants par type de conteneur et par substrat ont été utilisés pour mesurer la hauteur de tige (HAUT), le diamètre au collet (DIAM), le poids sec de la partie aérienne (PST), le poids sec de la partie racinaire (PSR) et le poids sec total (PSTOT). Le rapport PST/PSR permet d'apprécier le développement relatif de la tige par rapport à la racine. Ce paramètre rend compte de la distribution, au sein de la plante, des produits issus de l'activité photosynthétique. Un plant en bonne santé présente un ratio variant de 1 à 2 (Hannah, 2006 ; Lamhamedi *et al.*, 2000). Le rapport HAUT/DIAM a été calculé. Il représente le ratio de robustesse, indice qui doit être inférieur à 8 pour les plants forestiers (Lamhamedi *et al.*, 2006). Des analyses foliaires ont été également réalisées.

Tableau I.

Substrats et conteneurs utilisés dans les deux essais réalisés en pépinière du Centre régional de la recherche forestière de Marrakech au Maroc.

Substrats (V : V)	Symbole du substrat	Essai 1	Essai 2
Compost T : Terreau			
0 : 100	CT0	X	
25 : 75	CT25	X	
50 : 50	CT50	X	
75 : 25	CT75	X	
100 : 0	CT100	X	
Compost A : Terreau			
50 : 50	CA50		X
80 : 20	CA80		X
Tourbe : Terreau			
50 : 50	T50		X
80 : 20	T80		X
Conteneurs			
300 ml		X	X
400 ml		X	X
350-25		X	X
Rigui-pot 650 ml		X	
WM 500 ml en plaque		X	
WM 550 ml individuel			X
WM 650 ml individuel			X
Sachet 800 ml		X	X

Analyses statistiques

Une analyse de la variance a été effectuée pour évaluer l'effet substrat sur les caractéristiques physico-chimiques des plants. Pour les caractères biométriques de ces plants, nous avons réalisé des analyses de la variance prenant pour effets respectifs le conteneur, le substrat et le bloc. La distinction de groupes homogènes pour lesquels l'effet de chaque facteur est significatif a été assurée en utilisant la méthode de la plus petite différence significative (LSD de Fisher). Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel SPSS 10.0.

Résultats

Essai 1 : comportement des plants d'arganier élevés sur différents mélanges terreau-compost d'*Acacia cyanophylla*

La densité et les porosités présentaient des différences significatives selon les mélanges terreau-compost utilisés. L'ajout du compost T a fait diminuer de manière significative la densité du substrat, qui passait de 1,49 pour le terreau pur à 0,79 pour le substrat CT75, et atteignait 0,32 pour le substrat CT0 (tableau II). La porosité, l'aération et la capacité de rétention d'eau ont été nettement améliorées par l'incorporation du compost au substrat. La porosité totale du terreau, qui ne dépassait pas 22 %, s'élevait à 68 % pour le substrat CT75 et à plus de 80 % pour le substrat CT100. L'aération était proportionnelle à la quantité du compost ajoutée ; elle était de 0,35 % seulement pour le terreau et atteignait plus de 26 % pour le substrat CT100. La capacité de rétention d'eau du terreau était de 21 % et progressait proportionnellement au pourcentage du compost du mélange, pour atteindre plus de 54 % pour le substrat CT100.

Des différences significatives dans les caractéristiques chimiques ont été observées entre les mélanges terreau-compost. Pour le substrat CT100, le pH était légèrement acide (pH = 6,65), et celui des autres substrats était

basique (tableau II). La conductivité électrique du terreau était de 2,05 mS/cm et était significativement plus élevée que celle des autres mélanges, ce qui montre la richesse du terreau en ions solubles.

Le taux de matière organique était de seulement 1,12 % pour le terreau et progressait pour atteindre 21 % pour le CT100. L'azote Kjeldahl total était significativement plus présent dans les substrats CT75 (3,70 %) et CT100 (6,11 %). La même tendance a été observée pour le potassium, avec plus de 2 233 ppm pour CT10, et plus de 1 167 ppm pour CT75. Pour le phosphore assimilable, les teneurs oscillaient autour de 120 ppm. L'analyse de la variance a montré qu'il n'y avait pas de différences significatives, au seuil de 5 %, entre les différents substrats pour le rapport C/N, compris entre 18 et 20. Pour le magnésium, CT100 se distinguait avec une valeur de 266 ppm, soit le double de la valeur enregistrée pour les autres substrats (133 ppm). Ces résultats ont confirmé l'effet positif de l'ajout du compost au substrat traditionnel.

Le substrat a présenté un effet hautement significatif sur la hauteur, le diamètre au collet, le rapport HAUT/DIAM, le poids sec total et le poids de la partie aérienne des plants après un séjour de 8 mois en pépinière (tableau III). La hauteur moyenne des plants variait entre 19,5 cm pour le substrat CT100 et 30 cm pour le mélange CT20. Le diamètre au collet présentait moins de variations entre les substrats. Deux groupes homogènes se distinguaient pour le poids sec total et de la tige, un premier composé des mélanges CT, CT20 et CT50, et un autre composé des mélanges CT75 et CT100. Le poids sec de la racine pour le mélange CT20 était de 2,58 g, et était significativement plus grand que celui enregistré pour les autres mélanges.

Le rapport HAUT/DIAM moyen des plants produits avec le mélange CT100 était de 4,85. Il restait inférieur à ceux des plants produits sur les autres substrats. Ce rapport, appelé aussi ratio de robustesse, reflète le bon équilibre entre la hauteur et le diamètre du plant. Il doit être inférieur à 8 pour

Tableau II.

Caractéristiques physico-chimiques des mélanges de substrats (essai 1).

Mélanges	Densité	Porosité (%)	Aération (%)	Capacité au champ (%)	pH	CE (mS/cm)	MO (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ ass (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)
CT0	1,49e	22e	0,35d	21d	7,97a	2,05a	1,12d	0,36c	18	111	133	533d
CT25	1,39d	44d	6,13c	37c	7,42a	0,98b	1,59d	0,47c	19	122	133	633cd
CT50	1,09c	53c	5,60c	48b	7,30a	0,87b	6,36c	1,83c	20	117	133	833c
CT75	0,79b	68b	17b	51b	7,56a	1,32b	11,30b	3,70b	18	123	133	1 167b
CT100	0,32a	80a	26a	54a	6,65b	1,25b	21,01a	6,11a	20	123	267	2 233a
P (test Fisher)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,02*	0,01*	0,00**	0,00**	0,25	0,33	0,12	0,01*

* Différences significatives au seuil de 5 % pour le facteur substrat ; ** Différences hautement significatives au seuil de 1 %.

Verticalement, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test LSD au seuil de 5 %.

Les moyennes de chaque paramètre suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5 % selon le test LSD.

Tableau III.

Variations des valeurs moyennes pour HAUT, DIAM, HAUT/DIAM, PST, PSR, PSTOTA et PSR/PST des plants d'arganier pour les facteurs substrat et conteneur.

Facteur	Substrat					P (Test Fisher)	Conteneurs					P (test Fisher)
	CT0	CT20	CT50	CT75	CT100		300	400	WM 500	Rigui-pot 650	Sachet 800	
HAUT (cm)	27,33a	30,23a	23,85bc	24,18ab	19,50d	0,00**	24,98b	23,30b	23,29b	32,95a	32,95a	0,04*
DIAM (mm)	4,56b	5,16a	4,37b	4,33b	4,02b	0,00**	4,05abc	4,70ab	4,56ab	4,89a	5,55a	0,01*
HAUT/DIAM	5,99a	5,86a	5,46ab	5,58ab	4,85b	0,02*	6,17	4,96	5,11	6,74	5,94	0,03*
PST (g)	2,29a	2,41a	2,28a	1,33b	1,19b	0,04*	1,95b	1,87b	2,08b	3,03a	3,03a	0,01*
PSR (g)	1,99	2,58	1,79	1,18	1,01	0,13	1,58	1,54	1,81	1,91	1,91	0,00**
PSTOTA (g)	4,28a	4,14a	4,07a	2,51b	2,20b	0,04*	3,53b	3,41b	3,89b	4,48a	4,48a	0,00**
PSR/PST	1,15	0,93	1,27	1,13	1,18	0,55	1,23b	1,21b	1,15b	1,59a	1,59a	0,58

* Différences significatives au seuil de 5 % pour le facteur substrat ; ** Différences hautement significatives au seuil de 1 %. Horizontalement, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test LSD au seuil de 5 %. Les moyennes de chaque paramètre suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5 % selon le test LSD.

éviter les plants ayant une forme filiforme. C'est un bon indicateur de la capacité des plants à surmonter les chocs de transplantation.

Pour le facteur conteneur, les plants produits sur sachet de 800 ml montraient des valeurs supérieures aux autres plants pour tous les caractères biométriques (tableau III). Ainsi, par exemple, la hauteur du plant en sachet de 800 ml était de 32 cm, et la hauteur moyenne des plants produits sur les autres conteneurs était de 24 cm. Le rapport HAUT/DIAM des plants produits sur le conteneur de 400 ml est le plus bas, avec une valeur de 4,95.

Aucune interaction substrat/conteneur n'a été observée pour les caractères biométriques des plants d'arganier après 8 mois de croissance.

L'analyse visuelle de l'enracinement des plants à la fin de l'essai a permis de comparer les effets des différents conteneurs. Les racines des plants produits en conteneurs en plastique rigide avec ouverture basale ne montraient pas de déformations majeures, du type enroulement basal ou chignon. Leur système racinaire était composé de plusieurs pivots répartis dans toute la motte (tableau IV). Ces caractéristiques sont plus favorables aux plants pour surmonter les chocs de plantation.

L'analyse foliaire a fait apparaître que les facteurs substrat et conteneur n'ont pas eu d'effet significatif sur la composition minérale des plants. Le contenu en matière organique était de $97,14 \pm 0,46$ %, le taux d'azote atteignait $1,73 \pm 0,08$ %, et les concentrations en potassium et en phosphore s'élevaient respectivement à $2\,948 \pm 109$ ppm et $3\,698 \pm 162$ ppm.

Essai 2 : comportement des plants d'arganier élevés sur deux types de mélanges (terreau-compost et terreau-tourbe)

Dans l'ensemble, l'analyse des substrats du second dispositif expérimental qui permet de comparer le compost d'*Acacia cyanophylla* (CA) et la tourbe a révélé que l'ajout de ces deux matériaux améliore nettement les caractères physiques du substrat. La densité du mélange CA80 s'est révélée la plus faible avec 0,67, suivie de celle du mélange T80, égale à 0,81. T80 présentait la plus grande porosité totale (58,87 %) et la plus grande capacité au champ (55,96 %). Cependant, les mélanges à base de compost montraient les meilleures valeurs pour la porosité d'aération, avec 10 % pour CA50 et 13 % pour CA80, permettant ainsi un bon développement du système racinaire des plants (tableau V).

T80 contenait plus de matière organique (12,44 %) que CA80 (3,68 %). Le pH des mélanges à base de tourbe était inférieur au pH de ceux à base de compost. Comme dans le premier essai, la conductivité électrique du mélange C50 était plus importante que celle du mélange C80. Le pourcentage de matière organique se révélait proportionnel à la quantité de compost et de tourbe ajoutée au mélange. Les taux de phosphore étaient similaires pour les quatre mélanges, tandis que le mélange T80 se montrait significativement plus riche en potassium que les autres mélanges.

Les plants du second essai ont présenté des différences hautement significatives entre les substrats, mais uniquement pour le critère HAUT et le rapport HAUT/DIAM. Les effets conteneur et l'interaction substrat/conteneur étaient hautement significatifs pour tous les caractères.

Tableau IV.

Illustrations relatives aux caractéristiques morphologiques des plants d'arganier produits dans différents conteneurs (photos de A. Ferradous).

Conteneur	Partie aérienne des plants	Vue de la motte	Enracinement
Rigui-pot 650 ml			
350-25			
300 et 400 ml			
Sachet 800 ml			

Les hauteurs moyennes des plants élevés sur les mélanges CA80 et CA50 étaient respectivement de 24,58 et 24,98 cm (tableau VI). Elles étaient significativement supérieures, au seuil de 5 %, aux moyennes enregistrées pour les plants croissant sur T50 et T80, dont les valeurs respectives étaient de 22,49 et 18,29 cm. Le rapport HAUT/DIAM des plants obtenus avec le mélange T80 était de 4,33 ; il restait significativement inférieur à celui des autres substrats. Pour PST, PSR, PSTOTA et PSR/PST, il n'est pas apparu de différences significatives entre les plants obtenus sur différents substrats.

L'analyse de la variance a montré que les valeurs moyennes des plants pour HAUT, DIAM, HAUT/DIA, PST, PSR,

PSTOTA étaient significativement différentes pour le facteur conteneur à un seuil de 1 % (tableau VI). La hauteur moyenne des plants obtenus sur conteneur de 650 ml était de 27 cm ; celle des plants élevés sur les conteneurs de 800 ml, 400 ml et 300 ml était uniformément de 23 cm ; les plants élevés sur le conteneur 350-25 ne dépassaient pas 14 cm. Pour les caractères du poids sec, le test LSD a permis de mettre en avant le sachet de 800 ml, suivi du conteneur WM 650 ml, ensuite les conteneurs WM 550, 400 ml, 300 ml, et enfin 350-25, qui présentaient donc les valeurs les plus faibles.

L'analyse foliaire a montré les mêmes valeurs que pour le premier essai.

Tableau V.

Caractéristiques physico-chimiques des substrats à base de compost A et tourbe (essai 2).

Mélanges	Densité	Porosité (%)	Aération (%)	Capacité au champ (%)	pH	CE (mS/cm)	MO (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ ass (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)
CA50	1,03a	48,40c	10,07b	38,33c	7,83b	1,98a	0,92d	1,59d	19	103	100b	580d
CA80	0,67c	56,13b	13,00a	43,13b	7,74b	1,03b	3,68c	6,36c	20	117	100b	980c
T50	1,10a	39,33d	3,87c	35,47d	7,84b	1,75a	6,53b	11,30b	18	123	120b	890b
T80	0,81b	58,87a	2,91c	55,96a	5,75a	0,98b	12,14a	21,01a	20	124	160a	1 670a
P (test Fisher)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,19	0,27	0,02*	0,00**

* Différences significatives au seuil de 5 % pour le facteur substrat ; ** Différences hautement significatives au seuil de 1 %. Verticalement, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test LSD au seuil de 5 %. Les moyennes de chaque paramètre suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5 % selon le test LSD.

Tableau VI.

Moyennes pour HAUT, DIAM, DIAM/HAU, PST, PSR, PST, PSR/PST des plants d'arganier élevés dans différents substrats et conteneurs.

Facteur	Substrat					Conteneurs						
	CA50	CA80	T50	T80	P (Test Fisher)	300	350-25	400	WM 550	WM 650	Sachet 800	P (test Fisher)
HAUT (cm)	24,58a	24,96a	22,49b	18,29c	0,00**	23,60b	14,45d	23,12b	19,43c	27,47a	23,6b	0,00**
DIAM (mm)	4,36	4,29	4,26	4,22	0,47	3,56d	3,69d	3,99c	4,07c	4,97b	5,30a	0,00**
HAUT/DIAM	5,64a	5,82a	5,28a	4,33b	0,00**	6,63a	3,92d	5,79b	4,77c	5,53b	4,45c	0,00**
PST (g)	1,72	1,75	1,75	1,62	0,67	1,44c	0,91d	1,70bc	1,50c	2,03b	2,47a	0,00**
PSR (g)	1,33	1,41	1,37	1,37	0,43	1,10c	0,72d	1,27c	1,18c	1,62b	2,19a	0,00**
PSTOTA (g)	3,05	3,17	3,12	3	0,6	2,53c	1,64d	2,98c	2,68c	3,66b	4,66a	0,00**
PSR/PST	0,77	0,81	0,78	0,85	0,26	0,76	0,79	0,75	0,79	0,8	0,89	0,04*

* Différences significatives au seuil de 5 % pour le facteur substrat ; ** Différences hautement significatives au seuil de 1 %. Horizontalement, et pour chaque caractère, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test LSD au seuil de 5 %. Les moyennes de chaque caractère, suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5 % selon le test LSD.

Discussion

Durant les deux essais, l'intégration du compost au mélange a eu pour effet d'améliorer plusieurs caractéristiques physiques du substrat : réduction de la densité du milieu de culture à des niveaux acceptables pour la culture d'arganier en conteneur, augmentation de la porosité et de la capacité de rétention à des niveaux conformes aux normes requises pour les substrats de croissance destinés aux pépinières des zones arides, comme cela a été démontré par Bakry (2015). Généralement, l'apport d'amendements organiques entraîne systématiquement

une diminution de la densité apparente des sols (Chaussod et Nouaïm, 1996). Ce facteur est d'une importance capitale pendant les opérations de plantation au terrain. Les substrats à base de composts sont faciles à transporter, surtout en terrains accidentés. Le poids d'un sachet de 800 ml rempli de terreau pèse près d'un kilogramme, alors que celui rempli de compost ne dépasse pas les 300 g. Mokhtari et Berchil (2011), travaillant sur la production de plants d'arganier en pépinière, ont montré que le substrat contenant une grande proportion de matière organique présente le pouvoir absorbant le plus élevé. Les effets se reportent sur la croissance en hauteur et en diamètre, ainsi que sur le développement de la surface foliaire.

Dans tous les mélanges à base de compost explorés dans cette étude, le pH est légèrement basique, sans toutefois entraver le développement des plants d'arganier. Cependant, certains types de compost essayés chez l'arganier, qui étaient à base d'un mélange broyé de cônes de cyprès et de thuya, et de capsules d'eucalyptus, ont donné des plants d'arganier de mauvaise qualité, incapables de survivre sur le terrain. Cela a été attribué au pH initial élevé, qui a alors affecté l'absorption des éléments minéraux (Belghazi *et al.*, 2011).

Notre étude a montré, à travers les deux essais, que le compost est une alternative avantageuse à la tourbe pour la production des plants d'arganier en pépinière. Ce résultat est en accord avec les conclusions de Bakry *et al.* (2012, 2013) selon lesquelles le compost à base d'*Acacia cyanophylla* et *A. cyclops* permet d'obtenir des plants de très bonne qualité chez le caroubier, autre espèce agroforestière utilisée au Maroc. En Tunisie, le compostage représente une stratégie efficace pour recycler la biomasse sylvicole afin de confectionner des substrats de croissance adéquats pour la production des plants forestiers (M'Sadak *et al.*, 2012). Ces espèces d'acacias sont à croissance rapide, et pourraient fournir la biomasse végétale nécessaire à la fabrication du compost, subvenant ainsi aux besoins des pépiniéristes marocains (Bakry, 2015). Les déchets urbains peuvent également constituer une source non négligeable de compost. L'analyse physico-chimique montre que le compost produit à partir des déchets urbains est de bonne qualité. Il est riche en matière organique, en éléments fertilisants, et ne présente pas de risque de phytotoxicité (Lguirati, 1998). L'effet de ce compost sur la croissance des plantules d'arganier est bénéfique, bien que l'étude ne se soit déroulée que sur une courte période de trois mois. Le compost de grignons d'olives pourrait également être utilisé pour la production des plants d'arganier de qualité (Ferradous *et al.*, 2013).

Au cours du premier essai inhérent à cette étude, le compost T à 100 % a montré les meilleures propriétés physico-chimiques. Si le ratio de robustesse des plants produits sur ce compost est le plus bas, ce qui traduit donc un bon équilibre entre le diamètre et la hauteur du plant, les autres caractères des plants (hauteur, diamètre au collet et biomasse sèche) demeurent faibles. Ce résultat serait lié à l'absence de symbioses racinaires. D'après les travaux de Nouaïm et Chaussod (1994), l'arganier est classé parmi les plantes les plus dépendantes d'une symbiose mycorhizienne. Le rapport racines/parties aériennes est nettement réduit (de 40 à 50 %) par l'inoculation, ce qui traduit la meilleure efficacité d'un système racinaire mycorhizé. L'inoculation a pour effet d'accroître la longueur totale des axes, le diamètre au collet et la biomasse des plantes issues de multiplication *in vitro*. Elle accroît également la teneur des plants en phosphore, notamment dans les feuilles, les plants mycorhizés mobilisant 15 fois plus de phosphore que les plants non inoculés (Nouaïm *et al.*, 1994). Par ailleurs, un effet positif des champignons mycorhiziens s'exprime sur les paramètres dendrométriques des plants d'arganier en pépinière. Un gain de 13,9 cm en hauteur est obtenu avec un inoculum récolté en rhizosphère de *Ceratonia siliqua* (Elmaati *et al.*, 2015). Sur substrat inerte, l'inoculation par une souche de *Glomus intraradices* s'avère bénéfique

pour la croissance. Cela justifie l'inoculation, dès la pépinière, par des souches sélectionnées le plus précocement possible (Echairs *et al.*, 2008). En pépinière, les plants d'arganier croissant sur un sol collecté au niveau de la rhizosphère de *Euphorbia beaumierana*, qui montre un fort potentiel infectieux mycorhizien, présentent un fort pourcentage de colonisation mycorhizienne ; la teneur en phosphore des plants infectés est trois fois plus élevée que celle des témoins élevés sur un sol prélevé dans un terrain nu (El Mrabet *et al.*, 2014 ; Boussemame *et al.*, 2002). D'autres travaux sur l'arganier ont également révélé l'importance de la mycorhization pour un bon développement des plants en pépinière et en terrain de reboisement (Boussemame *et al.*, 2002 ; Echairs *et al.*, 2008 ; El Mrabet *et al.*, 2014 ; El Maati *et al.*, 2015).

La performance relativement meilleure, surtout pour la croissance en hauteur, du sachet de 800 ml pourrait s'expliquer par sa profondeur, qui est de 27 cm. Les conteneurs de 400 ml, 300 ml WM et 350-25 ont quant à eux une profondeur comprise entre 15 et 18 cm. Cette profondeur particulièrement élevée confère au sachet de 800 ml un avantage, surtout pour les espèces à racine pivotante comme l'arganier et le chêne-liège (Chirino *et al.*, 2008). Les expériences antérieures ont montré la bonne performance en plein champ des plants produits sur ce support (Nouaïm *et al.*, 1991 ; Nouaïm, 1994 ; Defaa *et al.*, 2011).

Les services forestiers marocains ont opté pour l'utilisation de conteneurs rigides en surélévation avec ouverture basale. Notre étude a démontré que ce type de conteneurs donne des résultats satisfaisants, surtout 650 ml, WM 650, WM 500 et 400 ml. Au Maroc, seul le conteneur de 400 ml est disponible en quantité suffisante. Il a aussi l'avantage de prévenir les déformations racinaires, tel le chignon qui se forme à la base du sachet et entrave le développement après plantation (Lemaire *et al.*, 1989 ; Gilman *et al.*, 2010 ; Landis *et al.*, 2014). Le ratio de robustesse des plants obtenus avec le conteneur de 400 ml est un autre atout en sa faveur. Belghazi *et al.* (2011) ont rapporté que les performances des plants d'arganier sont fortement influencées par le volume du conteneur et la nature du substrat. Les conteneurs de 500 ml en particulier augmentent fortement le taux de réussite et la croissance des plants, comme c'est le cas pour les plants de chêne-liège de plaine.

Conclusion

L'effort annuel de reboisement à base d'arganier réalisé par les services forestiers marocains ne cesse de croître depuis la fin du siècle dernier pour passer de moins de 20 ha en 1998 à plus d'un millier actuellement. La production de plants d'arganier correspondante est de l'ordre de plus d'un million de plants par an. La qualité des plants était très souvent le maillon faible des opérations de reboisement, avec pour conséquence de faibles taux de reprise des plants après transplantation. L'utilisation des sachets en polyéthylène a permis l'amélioration de la qualité des plants. Notre étude a été conduite pour accompagner le passage de la production des plants en sachets à la production en conteneur surélevés en plastique rigide.

Les substrats à base de compost produits localement ont révélé des caractéristiques physico-chimiques satisfaisantes pour la production des plants d'arganier. Ils ont permis d'obtenir des plants plus performants que ceux obtenus sur les substrats à base de tourbe traditionnellement utilisés dans les pépinières modernes. Il est temps de commencer à produire ce compost à grande échelle pour satisfaire la progression de la production des plants. En outre, pour améliorer la qualité des plants produits sur compost en pépinière, d'autres études impliquant l'inoculation par mycorhize, pour une meilleure utilisation des éléments nutritifs par les plants, devront être conduites.

Les conteneurs de capacité relativement réduite (400 ml) ont permis de produire des plants d'une qualité se rapprochant de celle obtenue avec un sachet en polyéthylène, qui nécessitait de grandes quantités de substrat. Toutefois, à cause des fortes chaleurs estivales de nos régions, les conteneurs ajourés sur toutes les faces, comme 350-25, ne sont pas adaptés puisqu'ils entraînent le dessèchement rapide du substrat et provoquent des déficits hydriques néfastes au développement normal des plants d'arganier en pépinière.

Bibliographie

- Al-Menaie H. S., Al-Shatti A., 2013. Growing Argan trees under Kuwait's harsh environmental Conditions. *In* : Actes du 2^e Congrès international de l'arganier, Agadir, 9-11 décembre 2013. Rabat, Maroc, INRA, 174-177. www.congresarganier.ma/pdf/actes2013.pdf
- Alouani M., 2003. Régénération de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) : protocole de production de plants de semis et par bouturage et réussite de la transplantation. Thèse, Faculté des sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc, 188 p.
- Anne P., 1945. Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. *Annales Agronomiques*, 15 (2) :161-172.
- Bakry M., Lamhamed M. S., Caron J., Bernier P. Y., Zine El Abidine A., Stowe D. C., Margolis H. A., 2013. Changes in the physical properties of two Acacia compost-based growing media and their effects on carob (*Ceratonia siliqua* L.) seedling development. *New Forests*, 44 (6): 827-847. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-013-9368-6>
- Bakry M., Lamhamed M. S., Margolis H. A., Zine El Abidine A., Bellaka M., Stowe D. C., 2012. Are composts from shredded leafy branches of fast-growing forest species suitable as nursery growing media in arid regions? *New Forests*, 43: 267-286. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-011-9280-x>
- Bakry M., 2015. Développement de substrats de croissance et amélioration des techniques de production de plants des essences agro-forestières adaptées aux zones arides. PhD en sciences forestières, Université Laval, Canada, 174 p. www.theses.ulaval.ca/2015/30812/30812.pdf
- Bellefontaine R., Ferradous A., Alifriqui M., Monteuis O., 2010. Multiplication végétative de l'arganier (*Argania spinosa*) au Maroc : le projet John Goelet. *Bois et Forêts des Tropiques*, 304 (2) : 47-59. http://bft.cirad.fr/cd/BFT_304_47-59.pdf
- Belghazi B., Ourous O., Ponette Q., Dallahi Y., 2011. La problématique de la régénération de l'arganier : quelle innovation en matière de production de plants de qualité ? *In* : Actes du Premier Congrès international de l'arganier, Agadir, 15-17 septembre 2011. Rabat, Maroc, INRA, 155-167. www.inra.org.ma/Docs/actesarganier/arganier155164.pdf
- Bousselmame F., Kenny L., Achouri M., 2002. Effet des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* L.). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 22 (4) : 193-198. https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/viewFile/184/163.
- Bremner J. M., 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl procedure. *Journal of Agricultural Science*, 55: 1-23. <https://doi.org/10.1017/S0021859600021572>
- Chaussod R., Nouaïm R., 1996. La valeur organique des boues d'épuration. Caractéristiques et évolution dans le sol. Effet sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. *In* : Valeur fertilisante des boues d'épuration urbaines. Journées techniques des 4 et 5 décembre 1996. Paris, France, ADEME, 8 p.
- Chirino E., Vilagrosa A., Hernández E. I., Matos A., Vallejo V. R., 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256 (4): 779-785. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.035>
- Defaa C., Achour A., Hossayni A., Bellefontaine R., El Mousadik A., Msanda F., 2011. Analyse de l'itinéraire technique d'un périmètre réussi de régénération d'arganier. *In* : Actes du Premier Congrès international de l'arganier, Agadir, 15-17 décembre 2011. Rabat, Maroc, INRA, 83-92. www.inra.org.ma/Docs/actesarganier/arganier083092.pdf
- Echairi A., Nouaïm R., Chaussod R., 2008. Intérêt de la mycorhization contrôlée pour la production de plants d'arganier (*Argania spinosa*) en conditions de pépinière. *Sécheresse*, 19 : 277-281. <http://www.jle.com/download/sec-280276-interet-de-la-mycorhization-controlee-pour-la-production-de-plants-darganier-argania-spinosa-en-conditions-de-pepiniere-cirad-WbE-9H8AAQEADpH-f5AAAAAP-u.pdf>
- El Maati Y., Msanda F., El Mousadik A., El Hamdaoui A., El Mrabet S., Ouahmane L., 2015. Contribution to the characterization of mycorrhizae in the southwest of Morocco and their effect on growth parameters of *Argania spinosa*. *The American Journal of Innovative Research & Applied Sciences*, 1 (7): 235-243. http://www.american-jiras.com/Abstract_9115.html
- El Mrabet S., Ouahmane L., El Mousadik A., Msanda F., Abbas Y., 2014. The effectiveness of arbuscular mycorrhizal inoculation and bio-compost addition for enhancing reforestation with *Argania spinosa* in Morocco. *Open Journal of Forestry*, 4 (1): 14-21. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2014.41003>
- El Yousfi M. S., 1988. Dégradation forestière dans le Sud-Ouest, exemple de l'arganeraie d'Admine entre 1969 et 1986. Mémoire de 3^e cycle, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 117 p.

- El Yousfi M. S., 2007. Productions des plants forestiers au Maroc. Atelier sur « La production des plants en pépinière », Salé, Maroc, mars 2007.
- Ferradous A., 2008. Essais de provenances et tests de descendances chez l'arganier. *In* : Actes des Premières Assises de la recherche forestière sur l'arganier, Essaouira, Maroc, 23-24 mars 2007. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 38 : 92-106.
- Ferradous A., Alifriqui M., Ouhammou A., Bouglad A., Srhir J., Chakib E. H., 2013. Effet de différents régimes d'irrigation sur la production de plants d'arganier en pépinière et comparaison avec trois espèces sahariennes. *In* : Actes du 2^e Congrès international de l'arganier, Agadir, 9-11 décembre 2013. Rabat, Maroc, INRA, 164-168.
- Gilman E. F., Harchick C., Paz M., 2010. Effect of container type on root form and growth of red maple. *The Journal of Environmental Horticulture*, 28: 1-7. <http://hort.ifas.ufl.edu/woody/documents/articles/GilmanHarchickPazJEH2010.pdf>
- Hannah J., 2006. Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière, directives pratiques pour les pépinières de recherche. Manuel technique n° 3. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre (ICRAF), 93 p. www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/mn14474.pdf
- Kéchaïri R., Abdoun F., 2013. Les essais pilotes de régénération artificielle de l'arganier à Tindouf en Algérie. *In* : Actes du 2^e Congrès international de l'arganier, Agadir, 9-11 décembre 2013. Rabat, Maroc, INRA, 63-67.
- Lamhamedi M. S., Ammari Y., Bertrand F., Fortin J.-A., Margolis H., 2000. Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégie de développement. *Cahiers Agricultures*, 9 (5) : 369-380. <http://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30259>
- Lamhamedi M. S., Fecteau B., Godin L., Gingras C., El Aini R., Gader G. *et al.*, 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. <http://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf>
- Landis T. D., Luna T., Dumroese R. K., 2014. Containers. *In*: Wilkinson K. M., Landis T. D., Haase D. L., Daley B. F., Kasten Dumroese R. (Eds). *Tropical Nursery Manual: A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants*. Agriculture Handbook 732. Washington, DC, USA, US Department of Agriculture, Forest Service, 123-140. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/46345>
- Lguirati A., 1998. Optimisation de la gestion des déchets urbains dans le Sud-Ouest marocain : compostage et valorisation agricole. Thèse de doctorat, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc, 106 p.
- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.-M., Charpentier S., 1989. Cultures en pots et conteneurs : Principes agronomiques et applications. Paris, France, INRA, 210 p.
- M'Hirit O., Benzyane M., Benchekroun F., El Yousfi M. S., Bendaanoun M., 1998. L'arganier : Une espèce fruitière-forestière à usages multiples. Sprimont, Belgique, Éditions Mardaga, 151 p.
- Mokhtari M., Berchil A., 2011. Effet de quatre substrats combinés à deux systèmes d'irrigation sur la qualité des plants d'Arganier produits en conteneurs. *In* : Actes du Premier Congrès international de l'arganier, Agadir, 15-17 décembre 2011. Rabat, Maroc, INRA, 337-341. <http://webagris.inra.org.ma/doc/ouvrages/arganier2011/arganier337341.pdf>
- M'Sadak Y., Elouaer M. A., El Kamel R., 2012. Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière. *Bois et Forêts des Tropiques*, 313 (3) : 61-71. http://bft.cirad.fr/cd/BFT_313_61-71.pdf
- Nerd A., Irijimovich V., Mizrah Y., 1998. Phenology, breeding system and fruit development of Argan (*Argania spinosa*, Sapotaceae) cultivated in Israel. *Economic Botany*, 52 (2): 161-167. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02861204>
- Nouaim R., Chaussod R., El Aboudi A., Schnabel C., Peltier J.-P., 1991. L'Arganier. Essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. *In* : Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bory G. (Eds). *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Nancy, France, Groupe d'étude de l'Arbre, Observatoire du Sahara et du Sahel, 373-388.
- Nouaim R., 1994. Écologie microbienne des sols d'arganeraies (S-W marocain) : Activité microbiologique des sols et rôle des endomycorhizes dans la croissance et la nutrition de l'arganier. Thèse de doctorat en sciences, Faculté des sciences d'Agadir, Maroc, 193 p.
- Nouaim R., Chaussod R., 1994. Mycorrhizal dependency of two clones of micro-propagated argan tree (*Argania spinosa*). I. Growth and biomass production. *Agroforestry Systems*, 27 (1): 53-65. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00704834>
- Nouaim R., Linères M., Esvan J. M., Chaussod R., 1994. Mycorrhizal dependency of two clones of micro-propagated argan tree (*Argania spinosa*). II. Mineral nutrition. *Agroforestry Systems*, 27 (1): 67-77. <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00704835>
- Nouaim R., Chaussod R., 1997. Effet de la mycorrhization contrôlée sur la croissance de l'arganier (*Argania spinosa*) après sa transplantation en sol non désinfecté. *Al Awamia*, 96 : 65-76. webagris.inra.org.ma/doc/awamia/09608.pdf
- Nouaim R., Mangin G., Breuil M.-C., Chaussod R., 2002. The argan tree (*Argania spinosa*) in Morocco: Propagation by seeds, cuttings and in-vitro techniques. *Agroforestry Systems*, 54 (1): 71-81. <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1014236025396>
- Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S., Dean L. A., 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington, DC, USA, US Department of Agriculture, 939: 1-19. <https://archive.org/details/estimationofavai939olse>
- Riedacker A., 1978. Étude de la déviation des racines horizontales ou obliques issues de boutures de peuplier qui rencontrent un obstacle : applications pour la conception de conteneurs. *Annales des Sciences Forestières*, 35 (1) : 1-18. <https://doi.org/10.1051/forest/19780101>