



EVALUATION DU POUVOIR MYCORRHIZOGENE DES SOLS RHIZOSPHERIQUES DE : *CHAMAECYTISUS ALBIDUS* ET *ONONIS NATRIX* DANS LA PRODUCTION DE PLANTS PERFORMANTS D'*ARGANIA SPINOSA* L. SKEELS

ASSESSMENT OF THE MYCORRHIZAL POTENTIAL IN RHIZOSPHERIC SOILS OF *CHAMAECYTISUS ALBIDUS* AND *ONONIS NATRIX* IN THE PRODUCTION OF EFFICIENT SEEDLINGS OF *ARGANIA SPINOSA* L. SKEELS

| Said El Mrabet ^{*1,2} | Fouad Msanda ² | Abdelhamid El Mousadik ² | and | Lahcen Ouahmane ³ |

¹. Regional Department of Forestry and Combating Desertification | Agadir | Morocco |

². Laboratory of Biotechnology and Valuation of Natural Resources | Faculty of Sciences | Agadir | Morocco |

³. Laboratory of Ecology and Environment | Faculty of Sciences Semailia | Cadi Ayyad University | Marrakesh | Morocco |

|Received | 02 January 2017|

|Accepted | 10 January 2016|

|Published 18 January 2017 |

RESUME

Contexte : Les écosystèmes à *Argania spinosa* connaissent une dynamique régressive très préoccupante. Des interventions de sauvegarde efficaces sont obligatoires. Pour assurer sa pérennité, l'arganier doit jouir d'un mérite particulier quant à l'étude de sa culture en pépinière et de sa régénération. **Objectif :** L'objectif principal de ce travail est de caractériser le pouvoir mycorrhizogène des sols rhizosphériques de deux espèces accompagnatrices de l'arganier à savoir *Chamaecytisus albidus* et *Ononis natrix* et l'exploitation de ce potentiel mycorrhizien naturel comme une source d'inoculum pour produire des plants d'arganier de qualité aux pépinières forestières. **Méthodes :** Le potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) des sols rhizosphériques a été évalué en utilisant la méthode du nombre le plus probable. **Résultats :** Le nombre total de spores de champignons endomycorhiziens isolées dans la rhizosphère de *C. albidus* est significativement plus élevé que celui du sol nu et du sol rhizosphérique d'*O. natrix*. Chez le sol récolté près de *C. albidus*, le PIM est environ six fois plus élevé que celui du sol rhizosphérique d'*O. natrix*. Les résultats ont montré aussi que, grâce au développement d'une graminée *Stipa capensis* dans les zones ouvertes durant les périodes pluvieuses, le sol nu présente un PIM deux fois plus élevé que le sol rhizosphérique d'*O. natrix*. Sous serre, les plants d'arganier (*Argania spinosa*) mis en culture dans le substrat contenant le sol rhizosphérique de *C. albidus* ont montré les meilleurs pourcentages de mycorrhization et les meilleurs taux de croissance. Les résultats obtenus ont montré aussi que l'augmentation du nombre de propagules mycorrhiziennes arbusculaires (MA), dans le sol récolté dans les zones ouvertes, a conduit à une meilleure croissance des plants par rapport aux plants élevés dans le substrat contenant le sol rhizosphérique d'*O. natrix*. **Conclusion :** Ces résultats impliquent encore une fois l'effet bénéfique des champignons MA dans la croissance des plants. Ainsi, nos recherches ont montré clairement que le sol sous *C. albidus* peut être utilisé comme source d'inoculum mycorrhizien efficace dans la production des plants d'*A. spinosa* en pépinières forestières, et peut participer ainsi au maintien de l'écosystème arganeraie.

Mots-clés: Rhizosphère ; propagules mycorrhiziennes arbusculaires ; croissance ; pépinières forestières.

ABSTRACT

Background: The ecosystems of argan (*Argania spinosa*) are experiencing a very worrying regressive dynamic. Effective safeguarding interventions are mandatory. To ensure its perennality, the argan must enjoy a particular merit in studying its culture under nursery conditions and its regeneration. **Objective:** The main objective of this work is to characterize the mycorrhizal status of the rhizospheric soils of two plant species accompanying the argan tree, *Chamaecytisus albidus* and *Ononis natrix*, and exploiting this natural mycorrhizal potential as a source of inoculum to produce quality argan tree seedlings in forest nurseries. **Methods:** The soil mycorrhizal potential was assessed using the most probable number method. **Results:** The total number of Endomycorrhizal fungi spores isolated in the rhizosphere of *C. albidus* was significantly higher than that one in the bare soil and in the rhizospheric soil of *O. natrix*. In the soil collected near *C. albidus*, the mycorrhizal potential is about six times higher than that one of the rhizospheric soil of *O. natrix*. The results also showed that, with the development of a *Stipa capensis* grass in the open areas during the rainy periods, the bare soil presents a mycorrhizal potential twice higher than the rhizospheric soil of *O. natrix*. Under the greenhouse conditions, the argan tree plants grown in the substrate containing the rhizospheric soil of *C. albidus* showed the best percentages of mycorrhizal colonization and were able to improve their growth. The results obtained also showed that the increase in the number of arbuscular mycorrhizal (AM) propagules in the soil collected in the open zones led to a better growth of the plants compared to the plants grown in the substrate containing the rhizospheric soil of *O. natrix*. **Conclusion:** This result again implies the beneficial effect of AM fungi in plant growth. Thus, the current survey has clearly shown that soil under *C. albidus* can be used as a source of efficient mycorrhizal inoculum to produce vigorous *A. Spinosa* seedlings in forest nurseries, and then participate in the maintenance of a sustainable argan ecosystem.

Keywords: rhizosphere; arbuscular mycorrhizal propagules ; growth; forest nurseries.

1. INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) qui appartient à la famille des sapotacées, est la deuxième essence forestière du Maroc. Il occupe une superficie de l'ordre de 871 000 hectares [1]. Cette espèce endémique du Maroc et irremplaçable sur son aire de répartition a un intérêt tant sur le plan écologique que socio-économique : (i) l'arganier constitue le dernier rempart vert de lutte contre la désertification au sud-ouest du Maroc. En effet, grâce à sa résistance à l'aridité et à sa rusticité, l'arganier, avec son cortège floristique, assure la protection des sols contre l'érosion éolienne et hydrique favorisant ainsi la recharge en eau des nappes phréatiques et la protection des infrastructures. (ii) Ses fruits donnant une huile très demandée a des valeurs culinaires et médicinales remarquables. Cela conduit à une collecte systématique des graines. (iii) Ses feuilles constituent une source fourragère non négligeable pour le cheptel local et les troupeaux de dromadaires venant du Sahara marocain. Le droit de parcours est autorisé à tout moment et sans limitation du nombre ni de l'espèce. Ces écosystèmes, d'une valeur inestimable, sont donc soumis à une forte pression, ce qui a conduit à une forte dégradation de leurs composantes. Or, la dégradation des communautés végétales conduit impérativement à la dégradation des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols [2, 3, 4, 5]. Cette dégradation se manifeste par une réduction de la diversité et/ou de l'activité microbienne telluriques [6]. En conséquence, la diminution ou la perte de ce potentiel notamment mycorrhizien peut limiter la réussite des plantations en espèces locales [7,8]. Il est donc envisageable d'améliorer la performance des arbres notamment forestiers par l'utilisation des champignons mycorrhiziens mélangés au substrat de culture en pépinières forestières pour produire des plants forestiers vigoureux capables de résister dans les périmètres de reboisement et échapper au choc de transplantation [9,10,11,12,13].

Actuellement, il est connu que la mycorhization des essences forestières peut être obtenue (i) soit, par l'introduction d'un symbiote fongique préalablement sélectionné pour sa capacité à stimuler la croissance de la plante hôte dans des conditions environnementales données [14], (ii) soit, par la gestion du potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) *in situ* [15]. Cette seconde approche consiste donc à produire un inoculum fongique *in situ* composé par les symbiotes fongiques naturellement présents dans le sol de plantation. Le succès de cette technique repose sur l'utilisation de plantes herbacées ou/et arbustes susceptibles (i) de promouvoir rapidement la multiplication des champignons mycorrhiziens dans le sol et (ii) de se développer en association avec l'essence forestière retenue. La mycorhization par un complexe mycorrhizien natif est beaucoup plus effective qu'un inoculum non natif en ce qui concerne l'augmentation de la biomasse aérienne et la teneur en N, P et K des tissus foliaires [16]. Dans les régions méditerranéennes, la flore endémique est composée par des arbustes (*Anthyllis cytisoides*, *Retama sphaerocarpa*, *Rhamnus lycioides*, *Lavandula spp.*, *Thymus spp.*, etc) et des graminées typiques des zones arides (*stipa tenassissima*, *stipa capensis*, ...) qui sont très mycotrophes [17, 18, 19, 3, 20, 4, 21]. Cette végétation en forme de touffes peut constituer des îlots de fertilité [22,23] facilitant ainsi la régénération d'autres espèces ligneuses [24, 25, 26].

L'objectif visé à travers cette étude est : (i) l'évaluation du statut mycorrhizien de la rhizosphère de deux espèces accompagnatrices de l'arganier à savoir *Chamaecytisus albidus* et *Ononis natrix* (ii) l'exploitation de ce potentiel mycorrhizien naturel comme une source d'inoculum pour produire des plants de qualité aux pépinières forestières.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Site d'étude

La parcelle expérimentale 'Asserssif' est située dans une forêt d'arganier « Mesguina », à Agadir Ida Outanane au Maroc (coordonnées 9° 37' 03"W et 30° 29' 43" N, altitude : 165 m). Le bioclimat est aride avec des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 224,1 mm (Tableau 1). Cette arganeraie, mise en défens depuis 2004, présente un cortège floristique très diversifié. Les espèces majoritairement rencontrées sont : *Argania spinosa*, *Pistacia lentiscus*, *Rhus tripartita*, *Rhus pentaphylla*, *Acacia gummifera*, *Genista tricuspidata*, *Genista ifniensis*, *Euphorbia beaumierana*, *Periploca angustifolia*, *Stipa capensis*. Deux légumineuses abondantes dans le site sont aussi rencontrées, il s'agit de *Chamaecytisus albidus* : plante palatable très rare hors zone de mise en défens et *Ononis natrix* : espèce non palatable et omniprésente dans l'aire de l'arganeraie.

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles (en mm) pour la période 1993 à 2013 (Agence du Bassin Hydraulique Souss Massa- Station Agadir).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	TOTAL
1993-2013	32,9	30,9	34,8	11	4,3	1,1	0,0	3,3	5,1	19,5	29,1	52,1	224,1

Le tableau 2 montre certaines caractéristiques physico-chimiques du sol nu et des sols rhizosphériques de *Chamaecytisus albidus* et *Ononis natrix* de l'arganeraie étudiée.

Tableau 2 : Caractéristiques chimiques des sols rhizosphériques de l'arganier, les deux légumineuses étudiées et du sol nu issus de l'arganeraie 'Asserssif'.

	<i>A. spinosa</i>	<i>C. albidus</i>	<i>O. natrix</i>	Sol nu
pH (H ₂ O)	8,3	8,1	7,8	7,4
Total carbone (%)	2,33	2	1,6	1,1
MO %	4	3,44	2,75	1,89
Total Nitrogène (%)	0,22	0,34	0,3	0,17
C/N	10,59	5,88	5,33	6,47
P Olsen mg/Kg sol	13	11	6	8

2.2 Procédures d'échantillonnage

Cinq plantes de *C. albidus* et *Ononis natrix* ont été choisies au hasard. Sous chacune des plantes un échantillon de sol rhizosphérique a été prélevé. Les échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 10 – 20 cm. Les échantillons témoins ont été prélevés de façon aléatoire dans les zones ouvertes (sol nu), à l'abri de l'influence des plantes.

2.3 Dispositif expérimental

Les prélèvements de sol ont servi pour préparer le substrat de culture à base de tourbe désinfectée + sol rhizosphérique de chaque plante cible ou sol nu (10/1). Ce dosage (10/1) a été utilisé pour éviter tout effet des caractéristiques physico-chimiques du sol non désinfecté. Ainsi le statut mycorrhizien des sols non désinfectés aura, seul, un impact sur le développement des jeunes plants d'arganier, de plus les propriétés chimiques des trois substrats d'élevage sont presque similaires (Tableau 3).

Les graines pré-germées d'*Argania spinosa* ont été semées directement dans des pots de 2,5 Litre chacun contenant les trois substrats d'élevage (Tableau 3) à savoir :

- Substrat 1 : tourbe désinfectée (90%) + sol rhizosphérique de *C. albidus* (10%) ;
- Substrat 2 : tourbe désinfectée (90%) + sol rhizosphérique d'*O. natrix* (10%).
- Substrat 3 : tourbe désinfectée (90%) + sol nu (10%).

Il s'agit donc d'un dispositif de trois traitements. Les plants, disposés en blocs aléatoires complets avec vingt cinq (25) répétitions par traitement, ont été élevés durant huit mois sous serre (du 1^{er} octobre 2011 à fin mai 2012).

Tableau 3: caractéristiques chimiques des substrats d'élevage.

Paramètres	Substrat 1	Substrat 2	Substrat 3
pH (H ₂ O)	6,3	6,27	6,23
MO (%)	81,34	81,27	81,18
Azote total (%)	1,47	1,47	1,45
C/N	30,01	29,96	30,07
P Olsen mg/Kg	463,7	463,2	463,4

2.4 Etude de l'abondance des spores mycorrhiziennes arbusculaires et le Potentiel infectieux mychorizogène des sols étudiés

Les spores fongiques mycorrhiziennes arbusculaires (MA) ont été extraites de la rhizosphère de *C. albidus*, d'*O. natrix* et du sol nu par tamisage humide et par la méthode de décantation, puis par centrifugation tout en utilisant le saccharose [27]. Ensuite, le surnageant versé à travers un tamis de 50 μ m a été rincé avec l'eau du robinet. L'abondance des spores a été estimée par comptage direct sous loupe binoculaire du nombre de spores dans 100 grammes de sol.

Le potentiel mycorrhizien des échantillons de sol a été mesuré par la méthode du "nombre le plus probable", en utilisant la technique de dilution [27]. Six dilutions ont été réalisées pour chaque sol en mélangeant soigneusement le sol d'origine avec un sol sableux désinfecté à l'aide de l'autoclave (121°C, 2h) dans des proportions (1, 1/4, 1/16, 1/64, 1/256, 1/1024). Les caractéristiques physiques et chimiques du sol ont été évaluées : pH (H₂O) 9,23 ; argile 1,6 % ; limon grossier 0,5 % ; sable fin 51,3 % ; sable grossier 46,1 % ; carbone 0,11 % ; azote total 0,015 % ; phosphore total 13 mg/Kg. Cinq répétitions ont été préparées pour chaque dilution. Les graines de Maïs (*Zea mays L.*) préalablement stérilisées en surface avec de l'hypochlorite de sodium à 10% ont été mises à germer deux jours avant l'expérimentation sur papier filtre humide. Une graine germée a été ensuite transplantée dans chacun des pots (godets plastiques) contenant 100 g de dilution des différents sols. Les pots ont été placés sous serre. Après un mois de croissance, l'ensemble du système racinaire de chaque plant a été recueilli, lavé à l'eau du robinet, éclairci et coloré selon la méthode de Phillips et Haymann (1970) [28]. Des échantillons de chaque système racinaire ont été montés entre lame et lamelle et observés au grossissement 250x au microscope optique pour l'évaluation de toutes traces de mycorhizes. Chaque système racinaire montrant au moins un point d'infection (pénétration d'un hyphes dans la racine) est considéré comme mycorrhizé. Les données ont été exprimées en nombre de propagules mycorrhiziennes arbusculaires dans 100 g de sol sec et les limites de confiance inférieure ou supérieure à 95% ont été attribuées selon Fisher et Yates (1970) [29].

2.5 Calcul du taux de mycorhization et suivi de la croissance des plants d'*A. spinosa*

Huit mois après le semis, quatre plants ont été récoltés dans chaque traitement. Les racines d'arganier ont été lavées avec l'eau de robinet et colorées selon le procédé de Phillips et Hayman (1970) [28] par le bleu trypan. Elles ont été placées pour l'observation sous un microscope à grossissement 250x [30]. Une centaine de morceaux de racines de 1 cm ont été observées par plante. L'étendue de la colonisation mycorhizienne a été exprimée par la moyenne des pourcentages de colonisation qu'occupe le champignon dans chaque fragment.

Un suivi régulier de la croissance des plants d'arganier a été, aussi, réalisé durant la période d'observation. Ainsi, le diamètre basal et la hauteur des plants ont été enregistrés après 3, 6 et 8 mois de la date de semis.

2.6 Analyses statistiques

L'effet des sols rhizosphériques des espèces associées à l'arganier (*C. albidus* et *O. natrix*) sur les variables mesurées a été testé par une analyse de la variance à un seul facteur. Les moyennes sont comparées en utilisant le test de la plus Petite Différence Significative (LSD) calculée à $P < 0,05$. L'analyse de corrélation entre les paramètres mesurés a été réalisée en utilisant les coefficients de corrélation de rang de Pearson. Toutes les données ont été traitées grâce au logiciel SPSS version 20.

3. RESULTATS

3.1 Etude du statut mycorhizien des sols rhizosphériques de *C. albidus*, *O. natrix* et du sol nu

L'analyse du tableau 4 montre que *C. albidus* est hautement mycotrophe par rapport à *O. natrix*. En effet, le nombre de spores par 100g de sol sec de la rhizosphère de *C. albidus* est environ 2,2 fois plus élevé que celui enregistré chez le sol rhizosphérique d'*O. natrix* et 2.6 fois plus élevé que celui du sol nu. De même, la valeur moyenne du Pouvoir Infectieux Mycorhizien (PIM) est environ six fois plus élevée dans le sol rhizosphérique de *C. albidus* par rapport à celle obtenue dans le sol rhizosphérique d'*O. natrix*. De surcroît, Les valeurs obtenues du PIM sous cette espèce dépassent de loin celles obtenues sous l'arganier. Les analyses ont montré aussi que le PIM du sol nu est deux fois plus élevé que celui du sol rhizosphérique d'*O. natrix*. Ceci peut être expliqué par le développement dans les zones ouvertes (sol nu), durant les périodes pluvieuses, d'une strate herbacée dominée par une annuelle *Stipa capensis*. De même, le système racinaire de cette graminée est très fin et densément ramifié ce qui permet de multiplier et de piéger les champignons mycorrhiziens.

Tableau 4 : caractéristiques biologiques des sols rhizosphériques prélevés dans la parcelle expérimentale sous l'*Argania spinosa*, *C. albidus*, *O. natrix* et le sol nu. La différence entre les valeurs en moyennes qui portent la même lettre en ligne n'est pas significative à 5% (LSD).

	<i>A. spinosa</i>	<i>C. albidus</i>	<i>O. natrix</i>	Sol nu
Nbre total de spores/ 100g de sol sec	43a	34b	15c	13c
PIM (nbre de Propagules / 100g sol sec)	47a	70b	12c	24d

3.2 Evaluation de l'effet du pouvoir mycorrhizien des sols rhizosphériques de *C. albidus* et *O. natrix* sur le taux mycorrhizien des racines et sur la croissance des plants d'arganier élevés sous serre

Le tableau 5 montre que le taux de colonisation des racines d'*A. spinosa* par les champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) est significativement plus élevé chez les plants élevés dans le substrat 1 (S1) contenant les champignons mycorrhiziens arbusculaires du sol rhizosphérique de *C. albidus* que dans le substrat 2 (S2) contenant le sol rhizosphérique d'*O. natrix* et le substrat 3 (S3) contenant le sol nu. Ainsi, le taux moyen enregistré chez les plants élevés dans S1 est presque cinq fois plus élevé que celui des plants élevés dans S2 et 2,5 fois par rapport à S3.

Les figures 1 et 2 montrent un effet positif du sol rhizosphérique de *C. albidus* sur les plantules d'arganier quant à la hauteur et le diamètre au collet. La différence entre les valeurs moyennes de la hauteur et du diamètre au collet n'était pas significative à 5% durant les trois premiers mois d'élevage entre les trois substrats étudiés (figure n° 1 et 2). Cette différence est devenue significative dès le 6^{ème} mois entre (S1 et S2) et (S2 et S3) quant à la hauteur des plantules d'arganier. Cette différence s'accroît avec le temps pour atteindre 61% en 8^{ème} mois entre les plants élevés dans S1 et S2, alors que cette différence atteint 32% entre S3 et S2. De même, il est important de signaler qu'en 8^{ème} mois nous avons remarqué une différence significative entre S1 et S3.

Le gain en croissance en hauteur est net et significatif entre les plants élevés dans le substrat 1 et les autres substrats. En effet, la croissance en hauteur entre le 8^{ème} et le 3^{ème} mois est de l'ordre de 76% pour les plants élevés dans S1 contre seulement 38% pour S3 et en 3^{ème} position arrive S2 avec 29%. La même tendance a été enregistrée pour le gain en croissance du diamètre au collet des plants d'arganier.

Tableau 5 : Évaluation de la colonisation des racines des jeunes plants d'arganier se développant dans les substrats 1 ; 2 et 3, après 8 mois de culture sous serre (n=4). Les valeurs qui portent la même lettre au sein d'une même colonne ne sont pas significativement différentes à 5% (LSD).

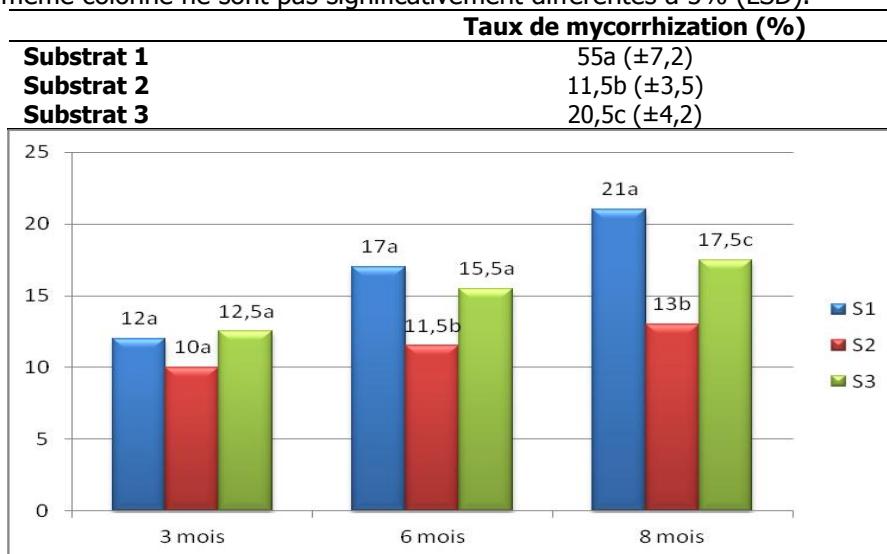


Figure 1 : Hauteur moyenne (en cm) des plants d'arganier élevés dans les substrats 1, 2 et 3 après 3, 6 et 8 mois d'élevage sous serre (n=25). Les valeurs des barres indexées par la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% (LSD).

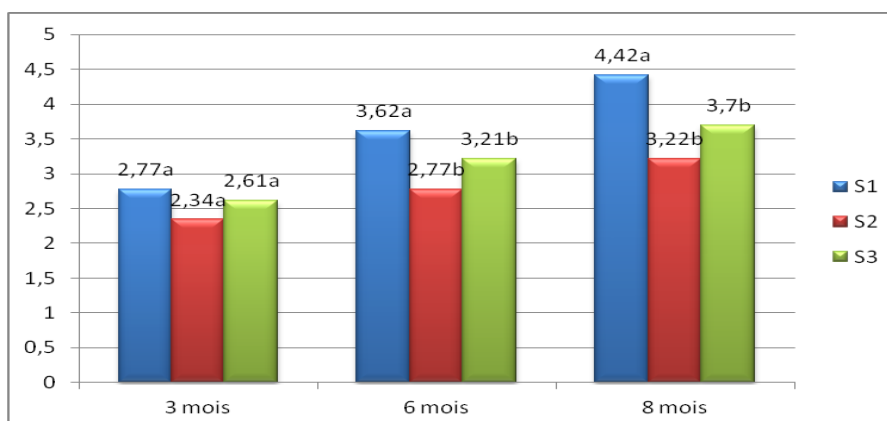


Figure 2 : Diamètre au collet moyen (en mm) des plants d'arganier élevés dans les substrats 1, 2 et 3 après 3, 6 et 8 mois d'élevage sous serre (n=25). Les valeurs des barres indexées par la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% (LSD).

4. DISCUSSION

En raison des fonctions écologiques clés jouées par la symbiose mycorhizienne [31], la gestion du potentiel indigène mycorhizien du sol est l'une des principales stratégies de restauration des écosystèmes forestiers [5, 15]. A cet effet, il est nécessaire d'étudier les espèces végétales existantes et leurs espèces associées en particulier les propagules mycorhiziennes avant le lancement de tout programme de reboisement [32]. Cette étude a été réalisée afin d'évaluer le rôle de deux légumineuses du cortège floristique d'*Argania spinosa*, à savoir : *C. albidus* et *O. natrix* à améliorer, par la colonisation mycorhizienne, la qualité des plants d'arganier produits dans les pépinières forestières. En effet, de nombreuses expériences dans la région méditerranéenne ont montré l'importance du potentiel mycorhizien indigène comme source d'inoculum pour la production des espèces ligneuses [33, 34, 35].

L'abondance relative des spores de champignons MA varie avec la nature des espèces des CMA, la plante hôte, les caractéristiques du sol et les conditions climatiques [27]. Dans la présente étude, des échantillons de sol ont été prélevés dans la rhizosphère des deux espèces cibles (*C. albidus* et *O. natrix*) et à partir du sol nu pour évaluer leur statut mycorhizien. Nos résultats ont montré que le nombre de spores par 100g de sol sec de la rhizosphère de *C. albidus* est environ 2,2 fois plus élevé que celui enregistré chez le sol rhizosphérique d'*O. natrix* et 2.6 fois plus élevé que le sol nu. De même, les sols prélevés sous les écosystèmes érodés ont souvent un nombre très faible des spores viables [36, 37],

cela a été appuyé par la présente étude où nous avons trouvé dans tous les échantillons un nombre élevé de spores qui sont apparues vides et endommagées. De surcroît, les spores ne constituent pas la source principale d'inoculum mycorrhizien dans les écosystèmes arides et semi-arides [36]. En effet, le champignon dans le sol se trouve sous forme de spore, d'hyphe ou de fragment de racine infectée et toutes ces propagules peuvent être considérées comme des sources d'inoculum [15]. C'est ainsi que dans notre étude, nos résultats ont montré que la spore n'est pas la principale source d'inoculum.

La dégradation des communautés végétales naturelles (structure de la population et diversité des espèces) entraîne généralement une perte ou une diminution de propagules mycorrhiziennes dans le sol et, par conséquent, diminue le potentiel mycorrhizien dans les zones dégradées [38, 39]. Dans l'étude actuelle, le comptage des propagules infectieuses MA à partir d'échantillons de terrain a montré que la plante cible *C. albidus* a la capacité d'enrichir le sol en propagules mycorrhiziennes par rapport à *O. natrix* et au sol nu. En effet, le potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) du sol rhizosphérique de *C. albidus* est environ six fois plus élevé que celui d'*O. natrix* et environ trois fois plus élevé que celui du sol nu. Par ailleurs, il est important de signaler que le PIM du sol nu est deux fois plus élevé que celui du sol rhizosphérique d'*O. natrix*. Ce résultat peut être dû au système racinaire très pauvre d'*O. natrix* marqué par une racine pivotante et un nombre très limité des racines secondaires dépourvues de chevelus. Par contre, *C. albidus* a un système racinaire très développé, profond et ramifié. En outre, les zones ouvertes (sol nu) connaissent durant les périodes pluvieuses un développement spectaculaire d'une strate herbacée dominée par une annuelle *Stipa capensis*, d'autant plus que la parcelle expérimentale est mise en défens depuis 2004. De même, le système racinaire de cette graminée (*S. capensis*) est très fin et densément ramifié ce qui permet de multiplier et de piéger les champignons mycorrhiziens. Ceci est en accord avec les résultats de Requena et al., (1996) [17] qui ont démontré que le statut mycorrhizien des sols rhizosphériques d'une graminée *Stipa capensis* était meilleur que celui d'une légumineuse *Anthyllis cytisoides* qui a un système racinaire similaire à celui d'*O. natrix*. Ils ont, également, montré que le niveau d'infection mycorrhizien du sol rhizosphérique de *S. capensis* est significativement plus élevé que celui du sol rhizosphérique d'*A. cytisoides*.

Des études antérieures [5, 35, 40] ont signalé qu'une espèce végétale peut directement influencer l'abondance et la composition des propagules fongiques dans sa rhizosphère. Ainsi, Azcon-Aguilar et al., (2003) [5], par exemple, ont montré que les rhizosphères de : *Stipa tenacissima*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus lycioides*, *Olea europea* subsp *sylvestris* et *Retama sphaerocarpa* ont plus de propagules de CMA par rapport aux sols nus qui les entourent. De même, Abbas et al., (2013) [35] ont remarqué que les rhizosphères de : *Lavandula multifida*, *Tetraclinis articulata*, *Pistacia atlantica*, *Olea oleaster* et *Withania frutescens* ont plus de propagules de CMA par rapport aux sols nus qui les entourent. Ces auteurs ont conclu qu'il est probable que des facteurs anthropiques, comme le surpâturage, provoquant la disparition de la strate herbacée, sont à l'origine de la diminution du PIM du sol nu.

L'effet des sols rhizosphériques de *C. albidus* et d'*O. natrix* sur les semis d'arganier élevés sous serre a été analysé. La croissance des plants d'arganier après huit mois d'élevage dans le substrat contenant le sol de la rhizosphère de *C. albidus* est significativement plus élevée que dans le substrat contenant le sol rhizosphérique d'*O. natrix* et du sol nu. Les résultats ont montré que l'inoculation mycorrhizienne a un effet significatif et positif sur la croissance des jeunes plants d'arganier. Ces résultats concordent avec ceux des études antérieures menées par Van der Heijden et al., (1998b) [41]. En effet, ces derniers ont montré que la plus faible productivité a été enregistrée dans les parcelles sans CMA ou avec seulement un nombre limité d'espèces de CMA. Des résultats similaires ont été obtenus dans les écosystèmes forestiers marocains chez *Cupressus atlantica*, *Tetraclinis articulata* et *Argania spinosa* respectivement par Ouahmane et al., (2006a) [34], Abbas et al., (2013) [35] et EL Mrabet et al., 2015 [42]. Ils ont montré que la croissance des semis était significativement plus élevée dans les sols rhizosphériques prélevés sous des espèces d'arbustes que dans les sols nus. Par ailleurs, Ouahmane et al., (2006b) [21] ont souligné le rôle de trois espèces de Lavande (*Lavandula multifida*, *L. stoeckas*, et *L. dentata*), considérées comme plantes 'nurses', dans le processus de régénération de trois espèces de Cyprés : *Cupressus atlantica*, *C. sempervirens* et *C. arizonica*.

La présente étude a montré donc que l'arganier est dépendant de la mycorhization pour son développement sous serre. Par ailleurs, il est connu que l'apport de la mycorhization est d'autant plus important que les conditions édapho-climatiques sont difficiles [43]. Ceci suggère que l'arganier serait encore plus dépendant de la mycorhization dans les conditions naturelles, marquées par un stress hydrique presque permanent et un déficit nutritionnel accru.

5. CONCLUSION

La présente étude confirme les effets bénéfiques d'une espèce établie dans l'écosystème à *Argania spinosa* à savoir *C. albidus* qui semble être d'un grand intérêt. Son sol rhizosphérique pourrait être utilisé comme une source d'inoculum mycorrhizien efficace pour la production des plants vigoureux d'*A. spinosa* dans les pépinières forestières. L'approche de régénération des écosystèmes dégradés doit commencer par l'évaluation du statut mycorrhizogène du sol notamment l'isolation, l'identification et la caractérisation des champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) indigènes. Ces CMA peuvent être utilisés pour produire un inoculum sélectionné et adapté afin d'améliorer la réussite des programmes de reboisement des espèces autochtones.

Reconnaissance

Cette recherche a été partiellement financée par la Deutsche Gesellschaft für Ge-Internationale Zusammenarbeit (GIZ) / (projet d'adaptation aux changements climatiques).

6. REFERENCES

1. IFN (Inventaire Forestier National), 1996. Synthèse de l'Inventaire Forestier National Marocain. Direction de Développement Forestier, Rabat.
2. Skujins, J., & Allen, M. F. Use of mycorrhizae for land rehabilitation. *MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, **1986**;2: 161-176. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00937191>
3. Albaladejo J., Martínez-Mena M., Roldán A. and Castillo V. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use Manage.* **1998**;14: 1–5. https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Roldan/publication/230293861
4. Requena N, Perez-Solis E, Azcon-Aguilar C, Jeffries P, Barea JM. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.* **2001**; 67: 495-498. <http://aem.asm.org/content/67/2/495.full>
5. Azcon-Aguilar C, Palenzuela J, Roldán A, Bautista S, Vallejo R et Barea JM. Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*, **2003**;22: 29-37. https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Roldan/publication/223613798
6. Kennedy, A. C., & Smith, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, **1995**;170, 75-86. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02183056>
7. Sylvia, D.M. Inoculation of native woody plants with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for phosphate mine land reclamation. *Agric. Ecosyst. Environ.* **1990**;31: 253–261. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880990902242>
8. Roldán, A., García, C., Albaladejo, J. AM fungal abundance and activity in a chronosequence of abandoned fields in a semiarid Mediterranean site. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **1997**;11:211-220. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15324989709381474>
9. Estaun V, Save R, Biel C. AM inoculation as a biological tool to improve plant re-vegetation of a disturbed soil with *Rosmarinus officinalis* under semi-arid conditions. *Appl. Soil. Ecol.* **1997**;6:223-229. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139397000140>
10. Caravaca, F., Alguacil, M.M., Torres, P., Roldán, A., Plant type mediates rhizospheric microbial activities and soil aggregation in a semiarid Mediterranean salt marsh. *Geoderma*, **2005**;124: 375-382. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706104001405>
11. Duponnois, R., Planchette, C., Prin, Y., Ducouso, M., Kisa, M., Bâ, A.M., Galiana, A. Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological Engineering* **2007**;29: 105-112. https://www.researchgate.net/profile/Yves_Prin/publication/248412087
12. Ouahmane, L., Hafidi, M., Kisa, M., Boumezzouch, A., Thioulouse, J., Duponnois, R. *Lavandula* species as accompanying plants in *Cupressus* replanting strategies: effect on plant growth, mycorrhizal soil infectivity and soil microbial catabolic diversity. *Applied Soil Ecology*, **2007a**; 34:190-199. <http://pbil.univ-lyon1.fr/JTHome/ref/OuahmaneASE2006.pdf>
13. Ouahmane, L., Hafidi, M., Thioulouse, J., Ducouso, M., Kisa, M., Prin, Y., Galiana, A., Boumezzouch, A., Duponnois, R. Improvement of *Cupressus atlantica* Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Applied Microbiology*, **2006a**;103:683-690. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2007.03296.x/full>
14. Duponnois, R., Founoune, H., Masse, D., Pontanier, R. Inoculation of Acacia holosericea with ectomycorrhizal fungi in a semiarid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, **2005a**;207:351-362. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704008035>
15. Duponnois R, Planchette C, Thioulouse J, Cadet P. **2001a**. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular Mycorrhizal fungal spores communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology* 17: 239-251. <http://jean.thioulouse.free.fr/ref/DPTC.pdf>
16. Caravaca, F., Alguacil, M. M., Azcón, R., Díaz, G., & Roldán, A. Comparing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and amendment with sugar beet, rock phosphate and *Aspergillus niger* to enhance field performance of the leguminous shrub *Dorycnium pentaphyllum* L. *Applied Soil Ecology*, **2004**;25:169-180. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.711.4972&rep=rep1&type=pdf>
17. Requena, N., P. Jeffries, and J. M. Barea. Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. *Appl. Environ. Microbiol.* **1996**; **62**:842–847. <http://aem.asm.org/content/62/3/842.full.pdf>
18. Azcón-Aguilar C, Barea J. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Sci Hort*, **1997**;68:1–24. <http://bashanfoundation.com/barea/bareaapplying.pdf>
19. Carrillo-García, A., León de la Luz, J. L., Bashan, Y., & Bethlenfalvay, G. J. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran desert. *Restoration Ecology*, **1999**;7:321- 335. <http://www.bashanfoundation.com/gmaweb/pdfs/nurplant.pdf>
20. Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J., Díaz, G., Honrubia, M., Vallejo, V.R. Microsite and mycorrhizal inoculum effects on the establishment of *Quercus coccifera* in a semi-arid degraded steppe. *Ecological Engineering*, **2002**;19:289-295. https://www.researchgate.net/profile/Jordi_Cortina/publication/236201273
21. Ouahmane L, Duponnois R, Hafidi M, Kisa M, Boumezzouch A, Thioulouse J, Planchette C. Some Mediterranean plant species (*Lavandula* spp. and *Thymus satureioides*) act as potential 'plant nurses' for the early growth of *Cupressus atlantica*. *Plant Ecology*, **2006b**;185:123-134. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11258-005-9089-9>
22. Rob W. Brooker, Fernando T. Maestre, Ragan M. Callaway, Christopher L. Lortie, Lohengrin A. Cavieres, Georges Kunstler, Pierre Liancourt, Katja Tielbörger, Justin M. J. Travis, Fabien Anthelme, Cristina Armas, Lluís Coll, Emmanuel Corcket, Sylvain Delzon, Estelle Forey, Zaal Kikvidze, Johan Olofsson, Francisco Pugnaire, Constanza L. Quiroz, Patrick Saccone, Katja Schifffers, Merav Seifan, Blaise Touzard and Richard Michalet. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. **2008**; *Journal of Ecology* 2008, 96, 18–34. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2745.2007.01295.x/epdf>
23. Schlesinger, W.H., Raikes, J.A., Hartley, A.E., Cross, A.F. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. **1996**. *Ecology* 7, 364-374. http://sev.1ternet.edu/sites/default/files/sev080_schlesinger_etal_ecology_1996_0.pdf
24. Maestre F.T., Callaway R.M., Valladares F., Lortie C.J. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. **2009**. *Journal of Ecology*, 97, 199–205. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2745.2008.01476.x/epdf>
25. Callaway, R.M., **1997**. Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecologia* 112, 143-149. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.1668&rep=rep1&type=pdf>
26. Caravaca F., Barea J.M., Figueroa D. & Roldán A. Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Appl. Soil Ecol.* **2002**; 20:107-118. <http://www.bashanfoundation.org/bareaoleaeuropaea.pdf>
27. Sieverding, E. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. Eschborn: GTZ, **1991**. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE94T2065>
28. Phillips, J. M., & Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, **1970**;55: 158-161.

29. Fisher, R. A., & Yates, F. *Statistical tables for biological agri- culture and medical research* (6th ed.). Davien: Hafner Publishing Company, 1970.
30. Brundrett, M. C., Piche, Y., & Peterson, R. L. A developmental study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhizal forma- tion. *Canadian Journal of Botany*, 1985;63:184-194. https://www.researchgate.net/profile/Mark_Brundrett/publication/233824509
31. Jeffries, P., S. Gianinazzi, S. Perotto, K. Turnau et J.M. Barea. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fertil. Soils*, 2003; 37:1–16. https://www.researchgate.net/profile/Katarzyna_Turnau/publication/225352842
32. Jasper, D. A. Beneficial Soil Microorganisms of the Jarrah Forest and Their Recovery in Bauxite Mine Restoration in Southwestern Australia. 2007. Restoration Ecology. Volume 15, Issue s4 Pages S74–S84. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1526-100X.2007.00295.x/full>
33. Caravaca, F., Barea, J. M., Palenzuela, J., Figueroa, D., Alguacil, M. M., & Roldán, A. Establishment of shrub species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, 2003b;22: 103-111. https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Roldan/publication/221953683.
34. Ouahmane L, Hafidi M, Plenchette C, Kisa M, Boumezouch A, Thioulouse J, Duponnois R. Lavendula species as accompanying plants in *Cupressus* replanting strategies: effect on plant growth, mycorrhizal soil infectivity and soil microbial catabolic diversity. *Applied Soil Ecology*, 2006a;34:190-199. <http://pbil.univ-lyon1.fr/JTHome/ref/OuahmaneASE2006.pdf>
35. Abbas Y., Bakkali Y. S., Prin Y., Arahou M., Abourouh M., Duponnois R. Growth and nutrition of *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.cultivated in different rhizosphere soils collected from Tetraclinis stand. *Biotechnol.Agron. Soc. Environ.* 2013;17(1):3-11. http://agritrop.cirad.fr/569483/1/document_569483.pdf
36. Brundrett M.C. & Kendrick B. The mycorrhizal status, root anatomy, and phenology of plants in a sugar maple forest. *Can. J. Bot.* 1988;66, 1153-1173. <http://www.aerobiology.net/wp-content/uploads/2014/04/>
37. McGee, P. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil. *New Phytol.* 1989;92:28–33. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953756289800929>
38. McLellan AJ, Fitter AH, Law R. On decaying roots, mycorrhizal colonization and the design of removal experiments. *Journal of Ecology*. 1995; 83:225-230. http://www.jstor.org/stable/2261561?seq=1#page_scan_tab_contents
39. Dickie IA, Reich PB. Ectomycorrhizal fungal communities at forest edges. *Journal of Ecology*. 2005; 93:244-255. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2745.2005.00977.x/full>
40. Martínez-García, L.B., Armas, C., Padilla, F.M., Miranda, J.D., Pugnaire, F.I. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semiarid environment. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011;43:682-689. https://www.researchgate.net/profile/Cristina_Armas/publication/236644874
41. van der Heijden MGA, Boller T, Wiemken A et Sanders IR. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*, 1998b;79:2082-2091. [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[2082:DAMFSA\]2.0.CO;2/full](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9658(1998)079[2082:DAMFSA]2.0.CO;2/full)
42. El Mrabet S., Ouahmane L., El Mousadik A., Msanda F., Growth and Nutrition of *Argania spinosa* L. Skeels Cultivated in Rhizosphere Soil of *Euphorbia Beaumierana* under Greenhouse Conditions. 2015. International Journal of Research Studies in Biosciences (IJRSB) Volume 3, Issue 3, March 2015, PP 138-151 ISSN 2349-0357 (Print) & ISSN 2349-0365 (Online). <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijrsb/v3-i3/17.pdf>.
43. El Mrabet S., Ouahmane L., El Mousadik A., Msanda F., Abbas Y., The Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Inoculation and Bio-Compost Addition for Enhancing Reforestation with *Argania spinosa* in Morocco. *Open Journal of Forestry* 2014;4(1):14-23. Published Online January 2014 in SciRes. http://file.scirp.org/pdf/OJF_2014010815431551.pdf.

Cite this article: Said El Mrabet, Fouad Msanda, Abdelhamid El Mousadik, et Lahcen Ouahmane II. EVALUATION DU POUVOIR MYCORHIZIEN DES SOLS RHIZOSPHERIQUES DE : CHAMAECYTISUS ALBIDUS ET ONONIS NATRIX DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE QUALITE D'ARGANIA SPINOSA L. SKEELS. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2017; 4(1): 44-51.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>