



Royaume du Maroc
Agence de Développement Social



Union Européenne

Projet UE / MEDA / ADS

« Appui à l'amélioration de la situation de l'emploi de la femme rurale
et gestion durable de l'arganeraie dans le sud-ouest du Maroc »

Volet recherche

Contrat n° AR05A062P704

Entre

Agence de développement social (Maroc) et Agropolis International

Thème 2

**Multiplication végétative et symbioses racinaires de l'arganier
Optimisation des agro systèmes à base d'arganier**

RAPPORT FINAL

Coordinateurs scientifiques :

Dr Lahcen Kenny CHA-IAV
Dr Antoine Galiana CIRAD
Dr Ronald Bellefontaine CIRAD



Février 2009

Sommaire	Page
Introduction	4
I - Objectifs du projet (Action 2)	5
II - Résultats Obtenus	
II.1 - Multiplication végétative et symbioses racinaires de l'arganier (Action 2.1)	
II.1.1. Production de rejets de souche	
II.1.2. Drageonnage	
II.1.3. Marcottage aérien	6
a. Introduction	
b. Lieu des essais et dispositifs expérimentaux	
c. Résultats	9
c1. Induction de racines sur marcottes	
c2. Effet de l'âge et du génotype sur l'induction des racines	10
c3. Effet combiné de l'âge et du type du substrat sur la dynamique d'enracinement	11
c4. Effet de la sphaigne sur la vitesse d'émission des racines	12
II.1.4. Bouturage	13
a. Matériel et méthodes	
b. Résultats	15
II.1.5. Greffage	18
a. Introduction	
b. Résultats	
II.1.6. Culture in vitro	20
a. Introduction	
b. Matériel et Méthodes	
c. Résultats	
c1. Effet du génotype et de l'âge sur la reprise des explants lors de la phase d'établissement	
c2. Effet du génotype et de l'âge des arbres sur la multiplication par embranchement axillaire	23
c3. Effet du type de bouture et de l'obscurité sur l'enracinement	25
d. Conclusion	
II.1.7. Symbioses mycorhiziennes	26
a. Objectifs	
b. Méthodologie	
c. Résultats	
c1. Diversité des spores de 7 sols récoltés sous arganier	
c2. Réponse de l'arganier à l'inoculation avec des sols bruts, avec des mélanges de spores purifiées des sols et des inoculums multipliés sur sorgho	27
c3- Conclusion – Tableaux et figures	
II.2 - Optimisation des agrosystèmes à base d'arganier (Action 2.2)	35
II.2.1. Etude des associations arganier/cultures traditionnelles	
a. Objectifs	
b. Dispositifs expérimentaux	
II.2.1.1 - Productivité des cultures d'orge et de Légumineuses en	35

association avec l'arganier au cours de rotations successives	
a. Introduction	
b. Installation des cultures associées à l'arganier	
c. Description de l'itinéraire technique de conduite des cultures	36
d. Productivité des cultures intercalaires	38
d1. Cultures associées à l'arganier adulte	
d2. Cultures associées aux jeunes arganiers	
e. Croissance des arbres d'arganier	
e1. Arbres d'arganiers adultes	
e2. Jeunes arbres d'arganiers	39
f. Interaction de l'arganier avec les cultures sous jacentes	
f1. Arganiers adultes	
f2. Jeunes arbres d'arganiers	
g. Conclusion – Tableaux et figures	40
II.2.1.2. Estimation de la quantité d'azote fixé par les Légumineuses	47
a. Objectifs	
b. Méthodologie	
c. Résultats	48
d. Conclusion – Tableaux et figures	49
II.2.1.3. Transfert d'azote fixé des légumineuses vers l'arganier	54
a. Objectifs	
b. Méthodologie	
c. Résultats	
d. Conclusion	
II.2.1.4 - Evolution de la fertilité des sols	57
a. Objectifs	
b. Méthodologie	
c. Résultats	
d. Conclusion	61
II.2.2. Etude du comportement de légumineuses arbustives fourragères et de cultures à forte valeur ajoutée	61
a. Objectifs	
b. Mode d'échantillonnage et analyses	
c. Résultats	62
d. Conclusion et perspectives – Figures	63
III - Formation, production scientifique et transfert de connaissances	70
III.1 - Formation de stagiaires	
IV - Remarques diverses sur le déroulement du projet	71

Equipe des chercheurs impliqués		
Thèmes	IAV-CHA Agadir Maroc	CIRAD – Montpellier France
Action 2.1. Multiplication végétative et symbiose racinaire	Mimoun Mokhtari, Lahcen Kenny, Abdelkarim Abouzid Salah Bouchaouch	Ronald Belfontaine, Yve Prin
Action 2.2. Optimisation des agroecosystèmes à base d'arganier	Moulay Cherif Beni Ismail Salah Bouchaouch	Antoine Galiana, J.M. Harmand, A, Yves Prin

Introduction

L'amélioration des revenus des usagers de l'arganeraie est conditionnée par la réhabilitation des peuplements dégradés d'arganier (*Argania spinosa*) et sa gestion durable. Dans ce contexte, les activités de recherche appliquée que nous avons proposées dans le cadre de ce projet étaient divisées en deux actions complémentaires : *i*) Action 2-1 : Multiplication végétative et symbioses racinaires de l'arganier ; *ii*) Action 2-2 : Optimisation des agro-écosystèmes à base d'arganiers.

Le choix de la première action était justifié par le fait que la production de plants d'arganiers de qualité nécessitait une meilleure maîtrise des techniques de régénération et de propagation végétative de l'arganier. De même, l'association symbiotique entre l'arganier et des champignons mycorhiziens du sol (mycorhizes à arbuscules localisées au niveau du système racinaire) peut être exploitée pour améliorer la croissance de l'arbre en plantation en facilitant la nutrition hydrique et minérale de la plante et ainsi augmenter sa survie et sa croissance.

La maîtrise de la régénération naturelle et de la production de plants d'arganier n'est cependant pas suffisante pour assurer une gestion durable et rationnelle de l'arganeraie. Il est nécessaire de développer en parallèle des outils de gestion (pour les vergers et pour les agro-écosystèmes traditionnels) susceptibles d'optimiser le comportement de l'arbre avec son environnement et ainsi améliorer sa productivité en valorisant des productions agro-forestières traditionnelles ou modernes (cultures à haute valeur ajoutée). Ainsi, l'optimisation des agro-écosystèmes à base d'arganiers nécessite une gestion rationnelle des cultures traditionnelles ou à valeur ajoutée en sous-étage qui soit économe en intrants, *via* l'utilisation de Légumineuses fixatrices d'azote en particulier, et qui permette la régénération artificielle ou naturelle des arbres.

I - Objectifs du projet

L'objectif global du projet est de développer des modèles de gestion durable pour les agro-écosystèmes à base d'arganier et de réhabiliter les arganeraies dégradées par l'introduction de techniques innovantes et économes d'élevage des plants en valorisant le savoir-faire local. Ainsi, les revenus tirés des productions agroforestières au niveau des arganeraies peuvent être améliorés en adoptant une approche intégrée qui englobe la diversification des produits, la promotion des productions de terroirs et l'introduction de nouveaux concepts de production, tout en préservant l'agro-biodiversité présente dans la Réserve de Biosphère de l'arganeraie.

Les objectifs spécifiques de l'Action 2-1 « Multiplication végétative et symbioses racinaires de l'arganier » sont :

- 1) Améliorer les techniques de régénération artificielle et le développement de nouveaux protocoles de régénération basés sur les biotechnologies modernes ;
- 2) Améliorer en pépinière et en champ diverses techniques de propagation végétative et d'élevage des plants d'arganier ;
- 3) Mettre au point des techniques d'inoculation par les champignons mycorhiziens locaux améliorant la croissance des plantes ;
- 4) Mettre au point des techniques durables de conduite de l'arganeraie fondées sur la gestion des populations naturelles de champignons mycorhiziens du sol.

Les objectifs spécifiques de l'Action 2-2 « Optimisation des agro-écosystèmes à base d'arganiers » sont :

1. Améliorer les techniques d'élevage des plants d'arganier en champ basées sur les biotechnologies modernes et les techniques d'inoculation par les champignons mycorhiziens,
2. Etudier l'interaction de l'arganier avec les cultures annuelles comme les céréales, les légumineuses et les cultures fourragères,
3. Introduire de nouvelles cultures de zones arides à plus-value élevée ,
4. Introduire de nouvelles techniques de conduite agronomique dans la gestion sylvo-pastorale de l'arganeraie.

II - Résultats Obtenus

II.1 - Multiplication végétative et symbioses racinaires de l'arganier (Action 2.1)

Cette action se décline en 3 activités :

- 1 : multiplication végétative classique
- 2 : culture *in vitro*
- 3 : symbioses mycorhiziennes

II.1.1. Production de rejets de souche

Aucun essai, ni enquête n'ont pu être menés du fait du désistement de dernière minute de l'ingénieur ENFI-Rabat, ce qui a réduit cette phase du projet à néant et il n'a pas été possible de trouver un autre ingénieur marocain (IAV) pour conduire ces travaux en 2007-2008. Il était cependant tout à fait illusoire d'espérer avoir des résultats notoires **en un espace de temps aussi court (2 ans)** dans le domaine de la foresterie. La phase 2 du projet pourrait reprendre en compte les activités de recherche qui avaient été envisagées sur ce thème.

II.1.2. Drageonnage

Ce volet a été mené par R. Bellefontaine. Concernant le drageonnage, les enquêtes, observations et essais qui étaient prévus n'ont pas été réalisés en raison du budget réduit et du désistement de l'ingénieur de l'ENFI-Rabat qui était proposé pour suivre cette thématique avec R. Bellefontaine.

Après des recherches dans diverses forêts, il faut conclure que la capacité de drageonnage de l'arganier doit être faible, même si M'Hirit *et al.* signalent en 1998 que « *l'arganier ne se régénère ni naturellement par semis (exceptés quelques cas très rares), ni de façon artificielle (plantations). La régénération par rejets de souches après la coupe, et encore moins celle qui s'opère par le drageonnage ou le marcottage, ne peuvent en aucun cas assurer la pérennité à long terme de l'écosystème à arganier* ». Beaucoup de forestiers ont remarqué que dans un rayon de 0,5 à 3 mètres autour de certains troncs d'arganiers, on observe de multiples rejets adventifs issus de racines, mais aucune étude n'a été réalisée pour savoir si ces drageons forment de nouvelles racines et si pour leur alimentation ils sont indépendants de l'arbre-mère. La question de l'autonomie et de l'affranchissement de ces drageons n'a pas pu être réglée, alors qu'elle était prévue (annexe du rapport de R. Bellefontaine de décembre 2006).

II.1.3. Marcottage aérien

a. Introduction

Cette action a été réalisée dans l'objectif de développer des modèles de gestion durable et développer des techniques innovantes et économes d'élevage des plants. Comme objectifs spécifiques, il a été tracé au départ d'utiliser des techniques de multiplication végétatives courantes et en particulier le drageonnage, le marcottage, le bouturage et le greffage. Pour des raisons de faisabilité le drageonnage a été laissé à l'avantage du marcottage qui a été possible vu les possibilités d'entretenir les plants par une irrigation dans les conditions de la réserve biologique de l'IAV Hassan II au Complexe Horticole d'Agadir. La nécessité d'un entretien intensif et d'une technicité élevée dans tout travail de multiplication végétative selon les premiers travaux résultats (Mokhtari et Zakri, 1998 et Harrouni, Mokhtari et Elkherrak, 2002) nous ont guidé à ne pas favoriser l'hypothèse de drageonnage émise au départ. Aussi, Il y a eu une nécessité de finaliser les premiers résultats de travaux réalisés sur le marcottage et le greffage qui ont lieu entre 2006 et 2007 à l'IAV Hassan II (en dehors de ce présent projet). Le travail sur le bouturage a été réalisé sur des rameaux de souches rajeunies et des rameaux d'un et deux ans.

b. Lieux des essais et dispositifs expérimentaux

L'essai de marcottage a été mené au Complexe Horticole d'Agadir à l'Institut Agronomique et Vétérinaire d'Agadir (IAV/CHA). Les travaux ont été menés sur des arbres non irrigués ou (arbres situés dans la Réserve Biologique appartenant à l'IAV, voir figure 1 : arbres n° 1, 2 et 3) ainsi que sur des arbres irrigués (arbres plantés en 1996 et situés sur la parcelle expérimentale (ces derniers sont irrigués au goutte à goutte ; arbres 7 et 8) et d'autres arbres situés dans des zones irriguées à la rampe (arbres 4, 5 et 6).

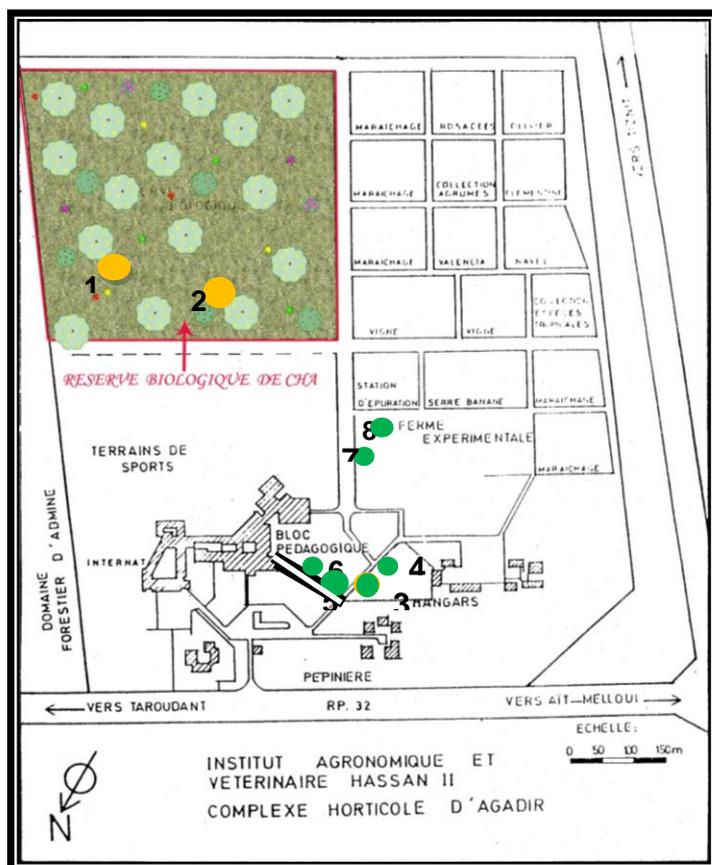


Figure 1 : Plan des parcelles de l'IAV/CHA et localisation des arbres testés (**numéros 1 à 8**) pour le marcottage aérien au niveau du Complexe Horticole d'Agadir.

Comme la technique de l'incision partielle a donné des résultats dans les travaux de MM. Mokhtari et Zakri 1998. Cette méthode a été utilisée dans la préparation de la branche à marcotter. Une fois cicatrisée, la marcotte est recouverte d'un manchon de substrat puis d'un plastique transparent. Le tout est enveloppé dans un papier en aluminium (Figure 2) à fin de réduire l'évapotranspiration et l'échauffement causé par le rayonnement solaire incident. La marcotte est ligaturée à l'aide d'une cordelette à ces deux extrémités pour maintenir le substrat. Ce dernier est maintenu humide par des arrosages fréquents.

Tableau 1: Dispositif de marcottage aérien réalisé durant le printemps 2008 sur l'Arganier à l'IAV/CHA d'Agadir

Traitement Arbre n°	T1 En bour Incision H ₁ +S+PA	T2 En bour Incision H ₂ +S+PA	T3 En bour Incision H ₂ +T+PA	T4 En irrigué Incision H ₁ +S+PA	T5 En irrigué Incision H ₂ +S+PA	T6 En irrigué Incision H ₃ +S+PA	T7 En irrigué Incision H ₁ +T+PA	T8 En irrigué Incision H ₂ +T+PA	T9 En irrigué Incision H ₃ +T+PA	T10 En irrigué Incision H ₂ +CT+P A	T11 En irrigué Incision H ₂ +T+PA / Gr	T12 En irrigué Incision H ₂ +S+PA/G r	T13 En irrigué Incision H ₄ +CT+P A	Nbre de Marcottes Par arbre
1	X													10
2		X	X											20
3				X			X							36
4					X			X		X				26
5					X			X		X				26
6						X _{500ppm}							X	20
7						X _{1000ppm}			X					20
8											X	X		12
Jour du marcottage	27/02 2008	28/02	28/02	03/03	05/03	06/03	07/03	08/03	12/03	05/03	18/03	18/03	06/03 2008	
Imbibition 1	19/03 2008	19/03	19/03	20/03	20/03/08	21/03	17/03			15/03			17/03 2008	
Imbibition 2	25/03	25/03	25/03	25/03	25/03/08	25/03	25/03	25/03	25/03/08	25/03	25/03	25/03	25/03	
Imbibition 3	30/03 2008	30/03	30/03	30/03	30/03/08	30/03	30/03	30/03	30/03/08	30/03	30/03	30/03	30/03 2008	
Nb de marcotte					10	10		8		8				
Nb de marcotte	10	10	10	20	10	10	16	8	10	8	6	6	10	
Légende :														TOTAL
I = incision en fente ; H ₁ = sans hormone ; H ₂ = hormone en poudre ; H ₃ = « AIB » à 500ppm ; H ₄ = « AIB » à 1000 ppm														170
S = sphaigne ; T = tourbe ; CT= mélange de tourbe et fibre de coco ; PA = plastique + aluminium ; Gr= rameau de diamètre supérieur à 2cm														



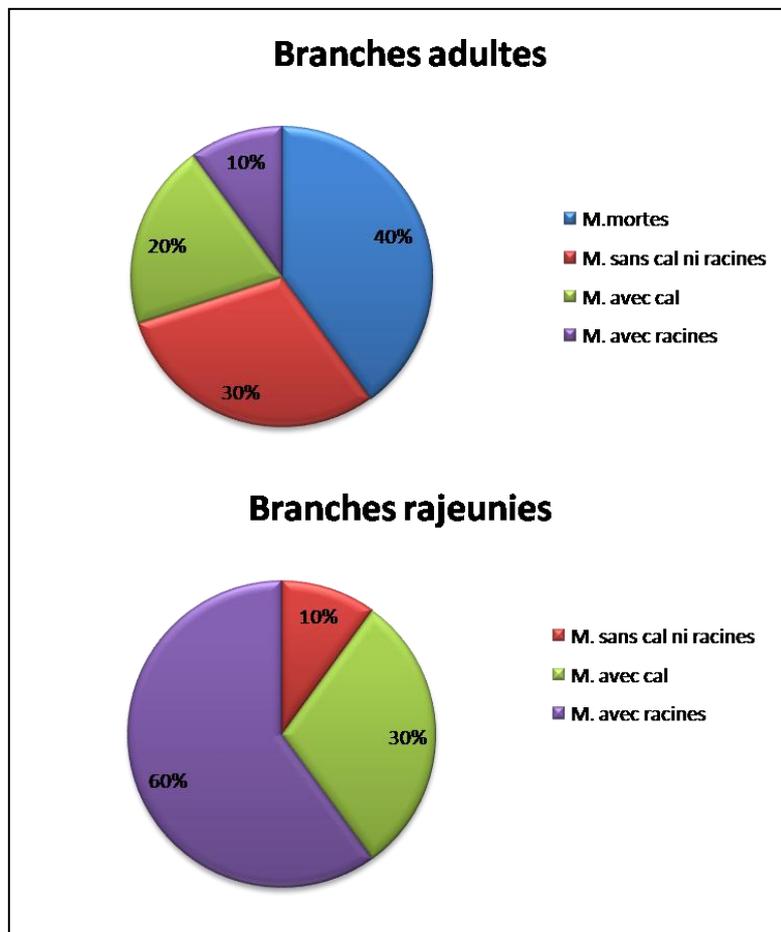
Photo 1 : marcotte protégée contre le soleil

c. Résultats

c1. Induction de racines sur marcottes :

L'induction des racines chez les marcottes est très variable entre individus (variabilité génétique), selon le mode d'entretien (taille), de l'irrigation (état physiologique de l'arbre) et des conditions de protection (type de substrat et couverture du manchon). Les premières marcottes ayant formé des racines ont été observées trois mois après l'opération de marcottage. Ce résultat qui a été observé sur un traitement comportant des marcottes sur pousses rajeunies d'un an et pour le substrat sphaigne. Le traitement sphaigne semble accélérer l'induction des racines de 15 jours à 1 mois. L'effet hormonal (deux types d'auxines) semble ne pas promouvoir les racines mais au contraire les inhiber; les racines sans hormones sont celles qui ont donné des racines en premier. Indépendamment des traitements, l'enracinement chez l'Arganier est un processus évolutif : Le % des marcottes des racines augmente au fur et mesure que le temps passe.

c2. Effet de l'âge et du génotype sur l'induction des racines :



La conclusion la plus remarquable est l'effet combiné de l'âge et du génotype de l'arbre : indépendamment des traitements, et sur les 8 arbres testés, seules les marcottes de l'arbre n°3 (tableau 3) ont produit des racines (6 tiges sur 10, soit 60% des marcottes ont produits des racines) et 30% sont avec cal 4 mois après le marcottage. Cependant sur ce même arbre (comportant 20 marcottes, avec 10 tiges rajeunies), une seule marcotte sur 10 (10%) a produit des racines pour les tiges adultes et non rajeunies (figure 2). Les marcottes adultes présentent des pertes (M. mortes) de 40% alors que les jeunes ont toutes survécues aux différents traitements.

Figure 2 : Effet de l'âge sur l'induction des racines des marcottes

Les marcottes réalisées sur des arbres adultes, non irrigués, ne produisant pas de pousses issues de souches (Traitements : T1, T2, T3) n'ont pas produit de racines.

Mêmes les tiges de l'année ne peuvent pas remplacer les tiges rajeunies. Ces tiges de l'année, mais matures, n'ont pas été différentes des gros rameaux de deux ans et plus (T11, T12). L'effet de l'âge est un facteur intrinsèque aux rameaux ; ce doit être un effet de juvénilité physiologique et n'a pas de relation avec la taille de la tige (le rameau juvénile est celui tige émis après une taille sévère). La taille (gros ou petit) du rameau ou à sa période d'apparition sur l'arbre (année 1 ou année 2) reste sans effet.

c3. Effet combiné de l'âge et du type du substrat sur la dynamique d'enracinement

Comparée à la tourbe, l'utilisation de la sphaigne n'améliore pas l'enracinement chez les individus à enracinement faible ou des plants non rajeunis mais il accélère le processus. Pour les marcottes des arbres irrigués et sans hormones, des manchons en sphaigne (substrat utilisé dans les marcottes) accélère l'induction des racines (figure 2) chez les plantes rajeunies. Le substrat avec la tourbe permet, lui aussi, l'enracinement mais à des dates ultérieures. A cette date (4 mois), il y a plus de cal que de racines dans les traitements avec tourbe.

Après 4 mois (27 juin 2008), et sans compter les marcottes qui ont formé du cal, seules 5 marcottes ont produit des racines visibles (extérieures). On a constaté que l'enracinement des marcottes varie entre les individus et augmente dans le temps (effet de l'âge et l'état physiologiques de l'arbre. Durant l'été et en début d'automne, le total des marcottes enracinées a augmenté en moyenne de 2 : de 6 marcottes le 27 juillet 2008, nous avons constaté que de nouvelles marcottes (2) avaient développé des racines ramifiées. A la fin de l'essai, 8 marcottes sur 172 (4,6%) ont formé des racines. La figure ci-dessous nous montre la part des différentes réponses observées sur les marcottes aériennes, 4 mois après le début de l'essai.

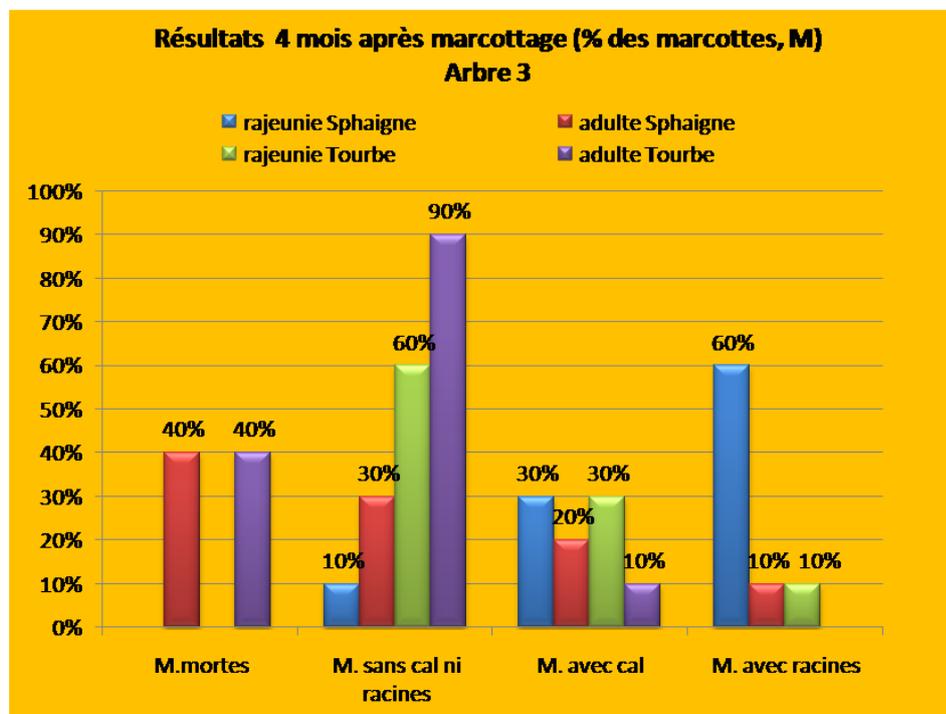


Figure 3 : Effet de l'âge, du substrat sur l'enracinement des marcottes, résultats en % de marcottes sur 40 marcottes réalisées sur l'Arbre n° 3 et après 4 mois du début de marcottage

La meilleure combinaison des traitements : Tiges rajeunies, Arbre irrigué, marcotte protégée contre la chaleur et avec une préservation de l'humidité dans manchon de la marcotte (protection combinée avec du plastic + de l'aluminium + Substrat sphaigne) mais sans traitement d'hormone (qui contrairement à ce qu'on prévoyait n'eu aucun effet (l'auxine, dans le cas de l'Arganier, risque d'être la cause de l'inhibition à certaines doses qui peuvent induire la production du C2H4, agent de stress).

c4. Effet du sphaigne sur la vitesse d'émission des racines

La première marcotte ayant formé des racines (T4) sur rameau rajeunie a été formé le 31 mai (après trois mois) se trouve à la fin du 4^{ème} mois avec des racines ramifiées et abondantes (chevelu racinaire, photo 2). La dynamique de la croissance au niveau du sachet plastique est certainement favorisée par des substances présentes dans les conditions de ce substrat (plus d'aération ou d'oxygénation, moins de stress et donc moins d'éthylène dégagé lors de la coupure, humidité équitablement disponible, autres substances organiques, protection contre les phénols sécrétés lors de l'incision des marcottes et probablement d'autres substances présent dans ce type de substrat).



Photo 2. ... e par rabattage

Quant à la part des réponses observées au niveau des marcottes réalisées avec de la tourbe brune sous les mêmes conditions environnementales et sur le même arbre (arbre n° 3), les résultats ont révélé uniquement des réactions de callogenèse. L'induction des racines au niveau de la tourbe a été réalisée avec une période de retard sur le sphaigne.

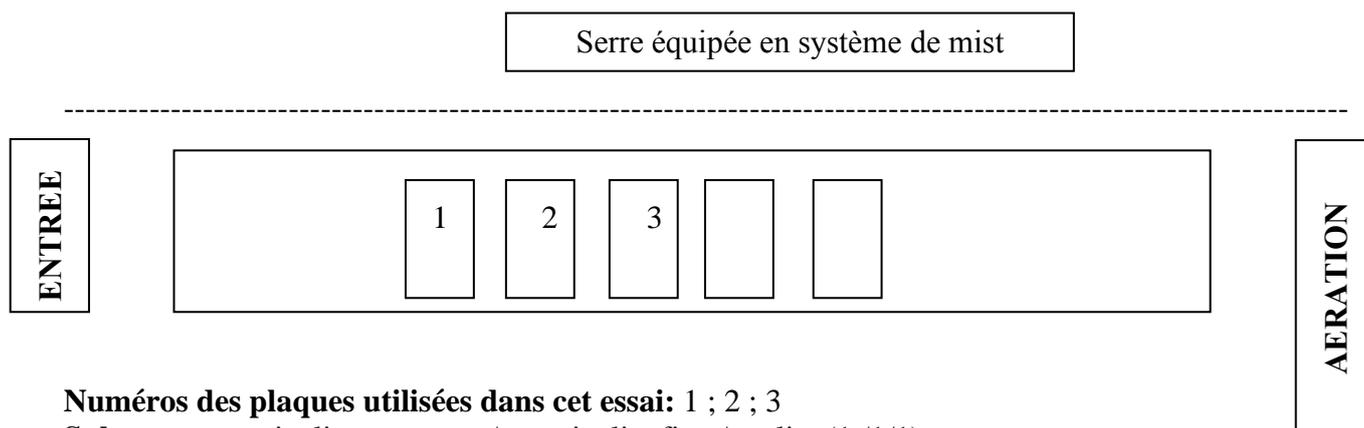
II.1.4. Bouturage

L'expérimentation a porté sur l'étude de l'effet de l'état hydrique du plant-mère, du génotype et de la température du substrat sur l'induction et la dynamique d'enracinement

a. Matériel et Méthodes

L'essai du bouturage a été mené dans une serre équipée de mist-système.

Figure 4 : Plan de l'essai



Numéros des plaques utilisées dans cet essai: 1 ; 2 ; 3

Substrat : vermiculite moyenne / vermiculite fine / perlite (1 /1/1)

Plants utilisés (A1 à F3) :

Plaque 1 (parcelle non irriguée)	A1	B1	C1
	D1	E1	F1
Plaque 2 (parcelle irriguée)	A2	<u>B2</u>	<u>C2</u>
	D2	E2	F2
Plaque 3 (parcelle irriguée)	A3	B3	C3
	<u>C2</u>	<u>B2</u>	F3

- **Dates de bouturage :** Le 10/12

- **Conditions de bouturage :**

Plaque 1 :

Boutures de tête (pousses de l'année, rejets de coupe)

Température et humidité relative ambiantes.

Plaque 2 :

Boutures de tête de pousses de l'année (pousses de l'année, rejets de coupe) ;

Température et humidité relative ambiantes.

Plaque 3 :

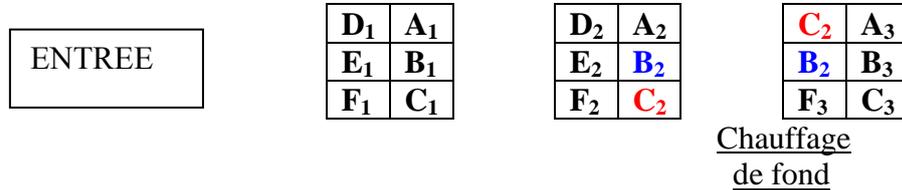
Boutures de tête de pousses de l'année (pousses de l'année, rejets de coupe) ;

Température : environ 21°C (assurée par un radiateur) et HR > 80%.

Traitement à l'auxine : toutes les boutures ont été traitées à l'auxine (1000 ppm d'AIB)

- **Dispositif de chacune des trois plaques:**

Dans chacune des plaques on dispose de
9 boutures / plant
6 plants / plaque
Selon le modèle suivant pour chaque plaque



Remarque : possibilité d’observer les effets de la température du substrat en plaçant la plaque 3 au-dessus du radiateur. Il sera alors possible de comparer notamment 2 plants (B2 et C2) sans le problème de l’hétérogénéité génétique. La plaque 1 (parcelle non irriguée) fait alors fonction de double témoin.

- **Pratique du bouturage**

Au total 162 boutures de têtes de jeunes pousses de l’année issues de rejets de pousses et d’une longueur de 30 cm ont été prélevées sur des parcelles irriguées ou non selon le dispositif ci haut. Ces rameaux ont été ensuite transportés dans des sachets placés dans deux glacières pour éviter le dessèchement du matériel végétal jusqu’à la serre, où ils ont été progressivement effeuillés un par un, coupés en segments de 5 cm de longueur à 1cm d’un nœud en laissant 4 à 5 feuilles simples qui servent de tire sève. Les boutures ont été traitées à 1000 ppm d’auxine (IAB) et placées dans le mélange de vermiculite moyenne / vermiculite fine / perlite (1 /1/1) (un mélange considéré idéal en bouturage par Hartman et *al.* 1997) puis disposées (voir dispositif) sur le table sous mist (photo 3). La plaque 3, a été la seule chauffée par un radiateur au niveau de sa base.



Photo 3 : dans des plaques alvéolées sur vermiculite + perlite placées sous mist.

b. Résultats

Dans le cas des plants issus de pieds mères de la parcelle non irriguée, même sous mist, la plupart des boutures ont commencé à perdre leur feuilles. Avec l'augmentation de la température de l'atmosphère, il était impossible d'éviter la pourriture des tiges dans cette catégorie de boutures (Figure 5, photo 4).

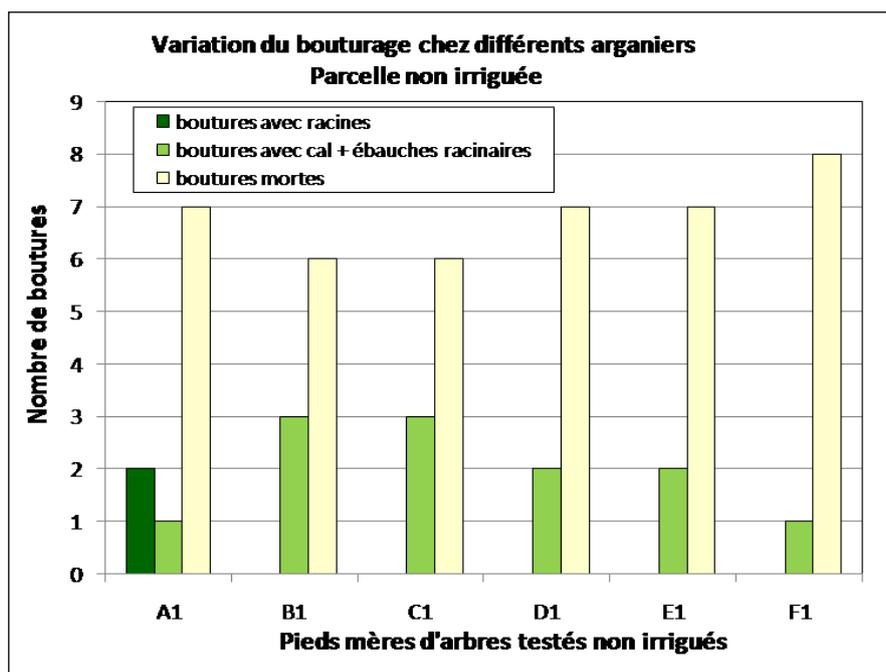


Figure 5 : Effet de la variabilité génétique sur le bouturage de six arbres non irrigués



Photo 4 : Résultat du bouturage du plant A1 (non irrigué), six mois sous mist après bouturage

Deux boutures sur 9 ont donné des racines chez un seul arbre (A1) sur 6 testés de la parcelle des pieds mères non irrigués. Sur les 45 boutures restantes, des 5 autres arbres (B1, C1, D1, E1 et F1) et qui sont elles aussi issues de la parcelle non irrigués, il n'y eu aucune racine et peu de boutures (1 à 3/arbre, figure 4) ont réussi à survivre aux conditions de serre sous mist.

Cependant, les boutures issues de pieds-mères irrigués ont favorablement réagi et on a observé des racines dans la plupart des boutures sauf pour l'arbre D2 (Figure 6). Apparemment, l'effet génétique, à côté de celui de l'état hydrique, est aussi un facteur clé dans l'enracinement des boutures. Sur la plan pratique, il sera intéressant de définir pour les spécimens d'Arganier, le potentiel d'enracinement des clones définis comme performants. Dans notre parcelle irriguée (localisé à l'IAV Hassan II, CHA), les arbres C2 et D2 sont des arbres très difficiles à s'enraciner même si on les irrigue. Au contraire les arbres E2 et A2 mais surtout F2 s'enracinent beaucoup mieux quand ils sont irrigués (Figure). Toutes les boutures de l'arbre F2 ont donné des racines (9/9 boutures, photo 5).

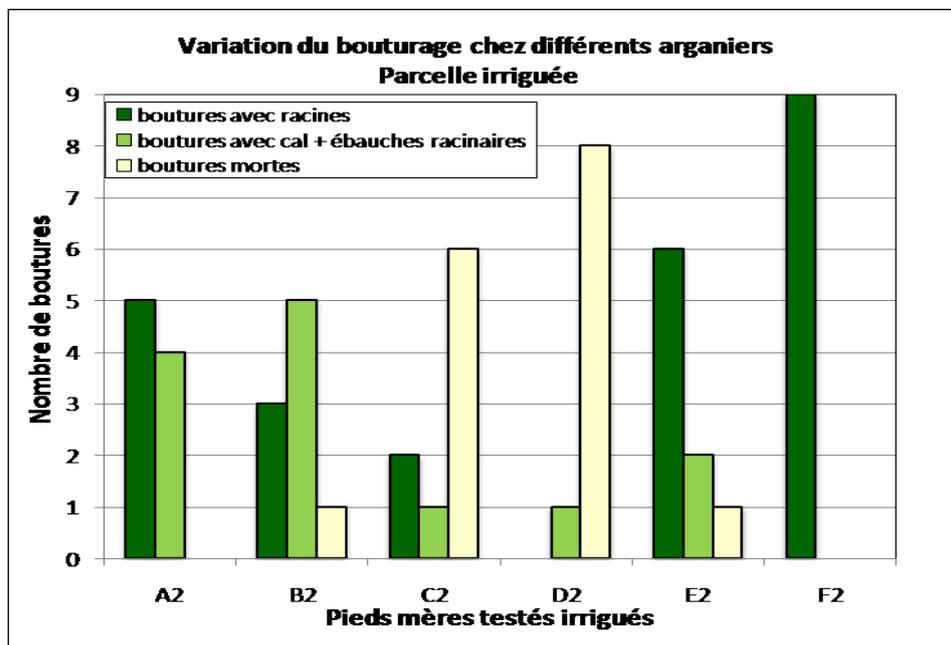


Figure 6 : Effet de la variabilité génétique sur le bouturage de six arbres irrigués



Photo 5: Résultat du bouturage du plant F2 (irrigué), six mois sous mis après bouturage

Il est aussi important de déclarer aussi que si on avait une année pluvieuse, les conditions auront été différentes ainsi que les résultats obtenus.

Pour l'essai mené sur l'effet combiné de l'état hydrique des pieds mères suivi par le chauffage de fond (chauffage réalisé sous la plaque 3 pour des boutures issues de six arbres), les résultats ont été aussi concluants. Plus de 55% des boutures (30 boutures/ 54, issues de parcelle irriguée) ont donné des racines et seulement 11% de boutures mortes (sur un total de 54 boutures issues de six arbres ; Figure 7).

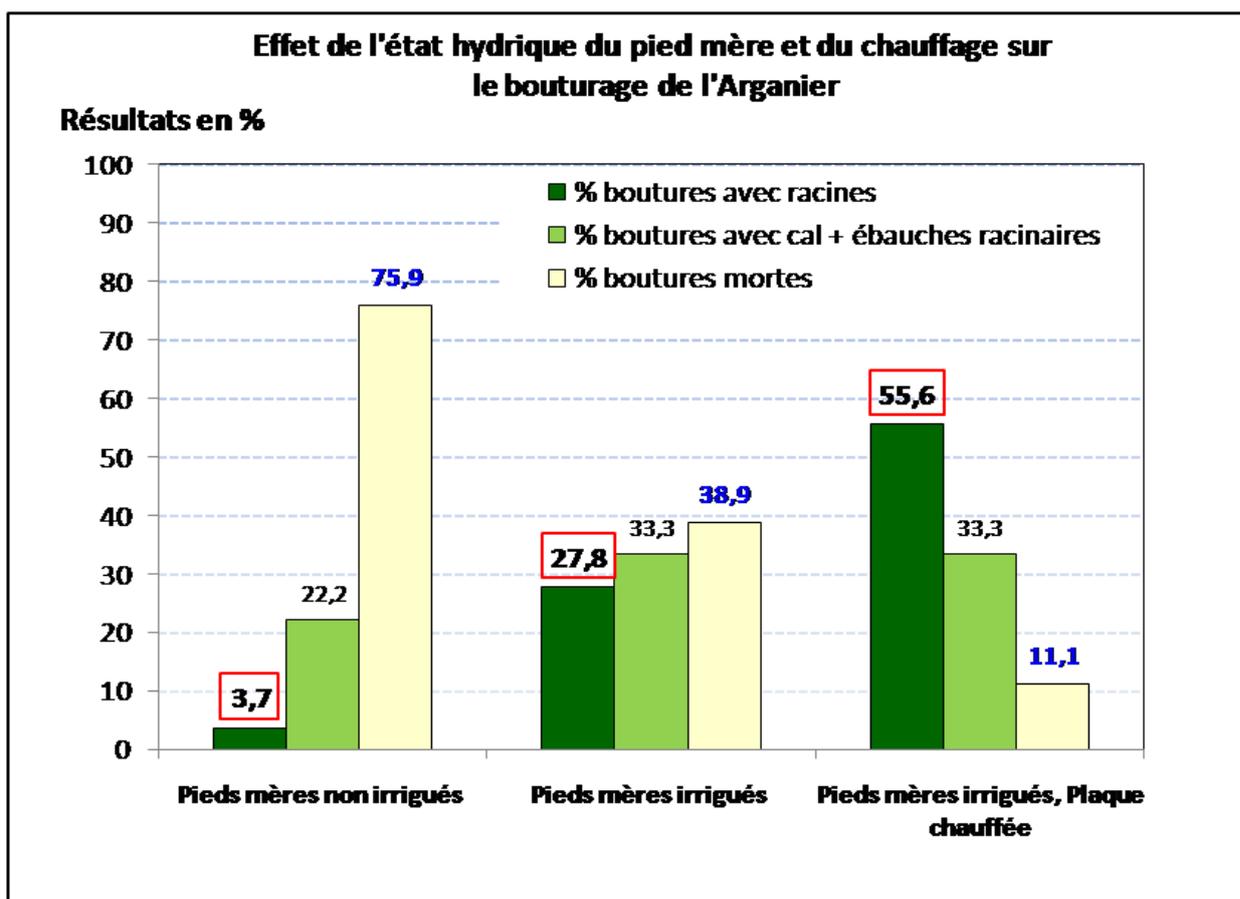


Figure 7 : Effet de l'irrigation des pieds mères et du chauffage sur le % de bouturage

En conclusion, même si les conditions de température d'ambiance au niveau de la serre n'étaient pas idéales (trop de chaleur en période estivale ce qui nécessite un système cooling dont on ne dispose pas dans cette serre), le bouturage de l'arganier a réellement profité en période hivernale (au début du bouturage) de l'application du chauffage de fond (par radiateur sous les plateaux) et les résultats sont encourageants. Indépendamment de l'irrigation, le chauffage a permis le gain de 27,8 (exactement le double de la valeur trouvée pour les plaques non chauffées).

II.1.5. Greffage

a. Introduction.

Le greffage est une technique qui consiste à associer deux fragments de végétaux : un porte greffe qui, par son système racinaire avec éventuellement une partie de sa tige, fournit l'alimentation nécessaire à la croissance du nouveau plant, et un greffon qui apportera les caractères génétiques du végétal à multiplier. Il correspond à la partie aérienne du nouveau plant. Dans le but de reproduire fidèlement une espèce ou un cultivar que l'on ne peut pas semer, bouturer ou bien marcotter, la soudure des deux éléments mis en contact se fait par prolifération de leurs cambiums.

Le greffage est beaucoup mieux adapté à l'arganier que le bouturage et le marcottage car, en plus de sa faisabilité pour conserver les performances des greffons (clones sélectionnés), il permet de garder les avantages du porte-greffe (racines longues permettant à l'arganier de puiser l'eau en profondeur) (Mokhtari, 1998).

Les types de greffes qui ont été essayés sur l'arganier sont l'écussonnage, greffage par approche sur arbre et sur jeunes plant de 6 et 8 mois ; greffage en fente apicale sur arbre et sur jeunes plants d'un mois, 6 mois et 8 mois.

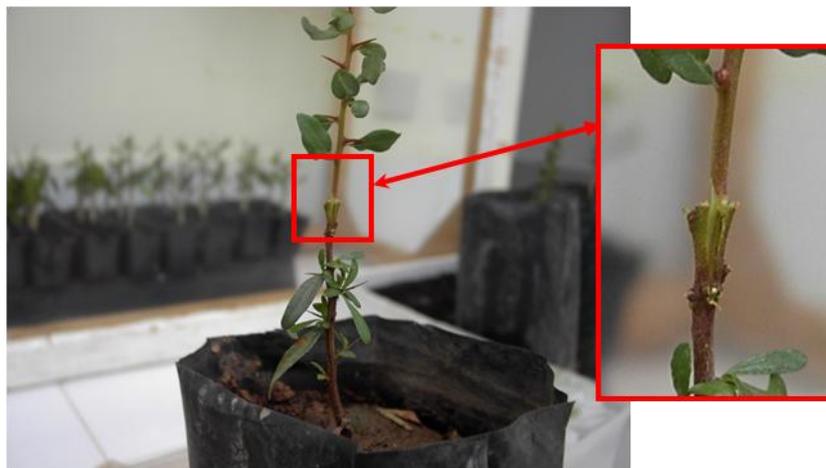


Photo 6: Greffage en fente d'un plant de 8 mois

Les travaux de Nassiri, 2007 ont révélé que la réussite du greffage en fente nécessite une humidité saturante (supérieure à 70%) et une température moyenne de 25°C, et qu'une élévation de la température à 29°C induit l'échec total du greffage ou bien à des pourritures des nouveaux individus

b. Résultats

Les meilleurs résultats ont été trouvés en utilisant la technique de greffe simple apicale. Les portes greffes âgés de 8 mois ne donnent que 37,5% même dans les meilleures conditions de greffage (laboratoire) (Figure 8). Le meilleur taux (87,5%) a été réalisé sur des portes greffes d'un mois et dans des conditions de température entre > 18°C et < 25°C et une humidité entre 85 et 95% .

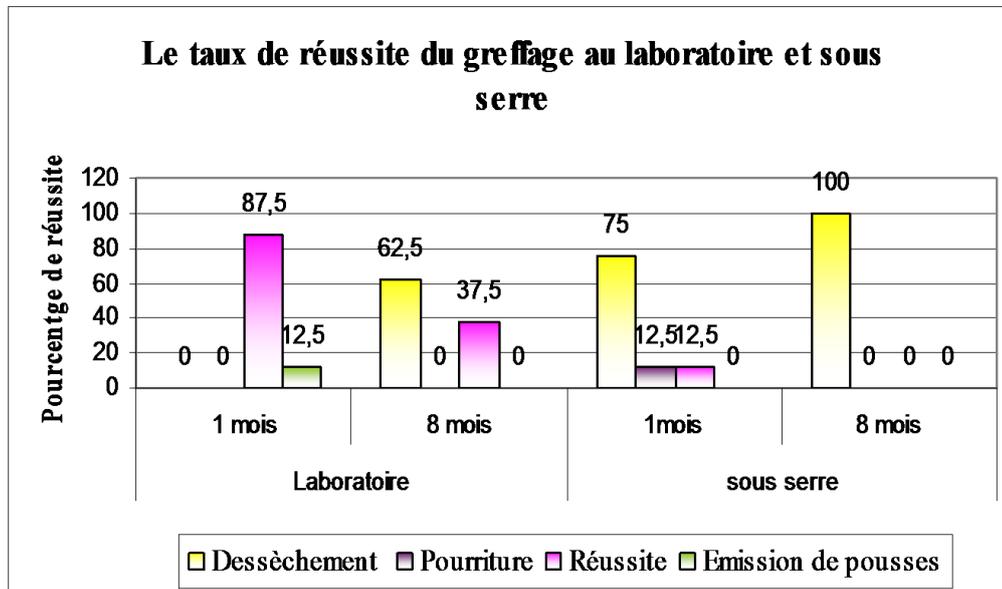


Figure 8 : Effet des conditions écologiques (température et humidité) de greffage et de l'âge du porte greffe sur la réussite du greffage

En conditions sous serre les feuilles et les tiges se dessèchent très vite (photo 7). La phase d'acclimatation est une phase clé dans la réussite de greffage en masse. Les phases d'acclimatation se limitent à une réduction de l'humidité relative à des valeurs entre 70 et 85%. Les températures ne doivent pas être très élevées.



Photo 7: Emission des pousses d'un plant greffé réussi au laboratoire et dessèchement d'un autre plant au niveau de la serre

Vu le % et la rapidité du greffage, il reste une technique à préconiser. L'opération du greffage et celle de l'acclimatation durent environ 1 mois en totalité, mais l'élevage des plants en conteneur et en parcelle doit être testé avant de passer à la vulgarisation de cette technique. Une trentaine de plants greffés ont été transplantés avec succès dans la parcelle d'essai de l'IAV Hassan II. Tous les plants (à cette date de début 2009) se portent très bien et poussent normalement avec une vigueur remarquable. Trois plants de cette collection ont cependant montré des phénomènes de difficulté de croissance. Plusieurs hypothèses ont été émises et la recherche future portera une explication à ces résultats.

II.1.6. Culture in vitro

a. Introduction

Les essais de culture in vitro menés au laboratoire du CHA avaient pour objectif de tester le comportement de quelques arbres sélectionnés sur la base de la forme des fruits pendant les trois phases classiques de la micro propagation à savoir, l'établissement, la multiplication et l'enracinement. Les objectifs tracés étaient de sélectionner les arbres qui feront l'objet d'étude approfondie dans le futur et d'introduire du matériel végétal pour une micropropagation à grande échelle dans le futur.

b. Méthodologie

Les explants utilisés étaient des micro boutures prélevées sur des jeunes semis ou sur des arbres adultes et cultivés sur un milieu de culture composé des sels minéraux de Murashige et Skoog (1962) amendé par des formulations à base de composés organiques développés par le laboratoire dans des études précédentes.

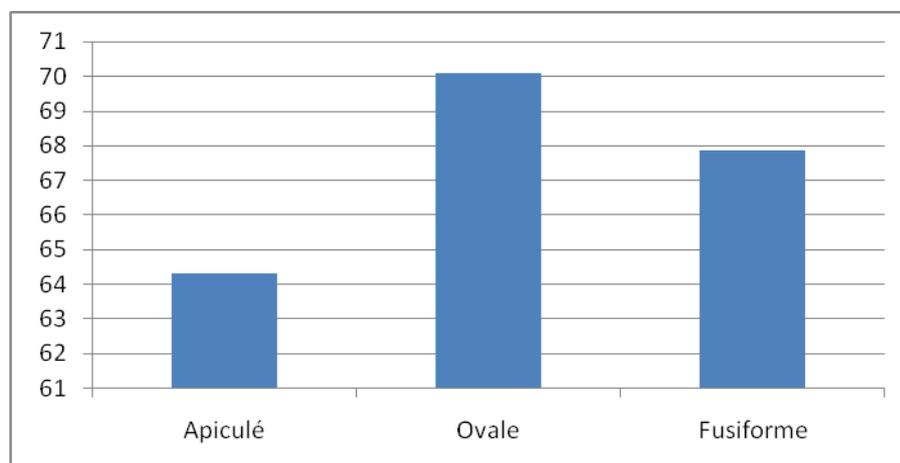
Les explants sont désinfectés à l'hypochlorite de sodium et mis en culture dans des bocaux contenant 50 cc de milieu de nutritif. Les subcultures durent 4 semaines en moyenne mais vu la lenteur des réponses de l'organier au stimulus nutritionnel, la durée peut être prolongée à 8 semaines.

c- Résultats

c1. *Effet du génotype et de l'âge sur la reprise des explants lors de la phase d'établissement*

L'établissement des cultures a été initié à partir d'un matériel juvénile (semis) et adulte issu de 24 arbres avec trois formes de fruits : ovale fusiforme et apiculé. Les arbres adultes sont situés soit dans la réserve du CHA soit dans la parcelle expérimentale.

Figure 9. Moyenne des pourcentages de reprise en phase d'établissement en fonction de la forme des fruits.



Le pourcentage de reprise le plus élevé a été obtenu avec les fruits de forme ovale et le plus faible avec les fruits de forme apiculée. Cependant, une variation notable dans la reprise a été observée au sein de chaque catégorie de fruit. Cette variation va de 40 à 90% selon les individus (Figure 9).

Que les graines soient collectées sur des arbres âgés de plus de 40 ans ou de 10 ans, la reprise des pousses en phase d'établissement est pratiquement la même avec un taux de reprise moyen d'environ 60%. Une légère différence peut être observée entre les individus comme le montre la figure 10.

Figure 10. Pourcentage de reprise en phase d'établissement en fonction des individus.

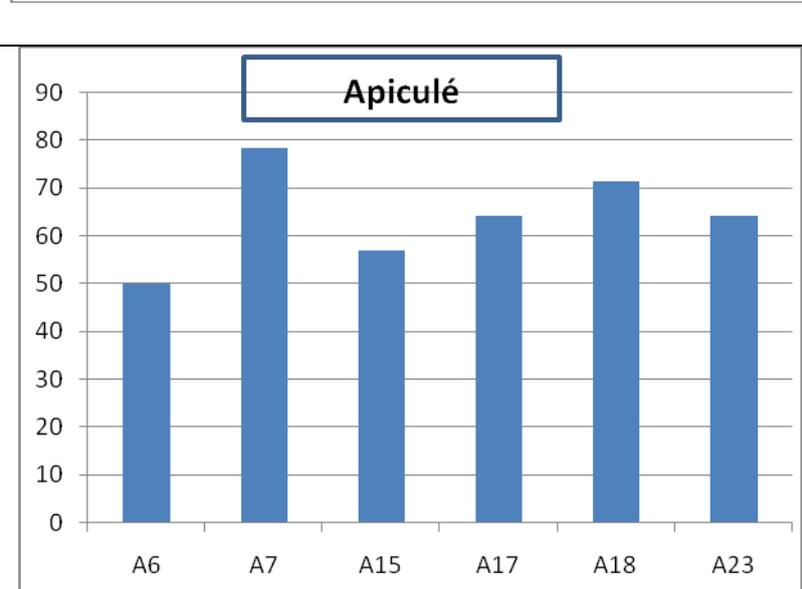
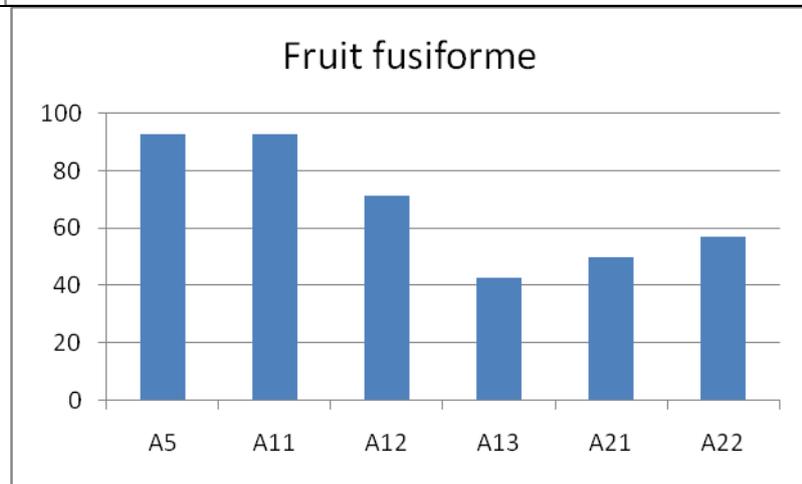
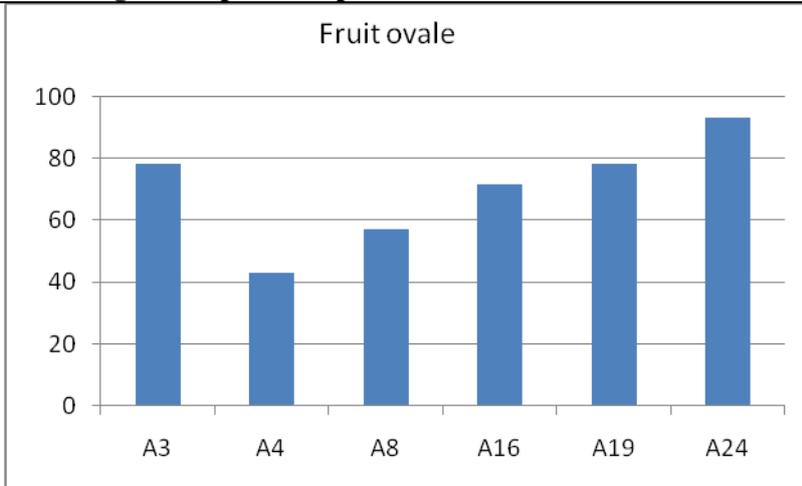
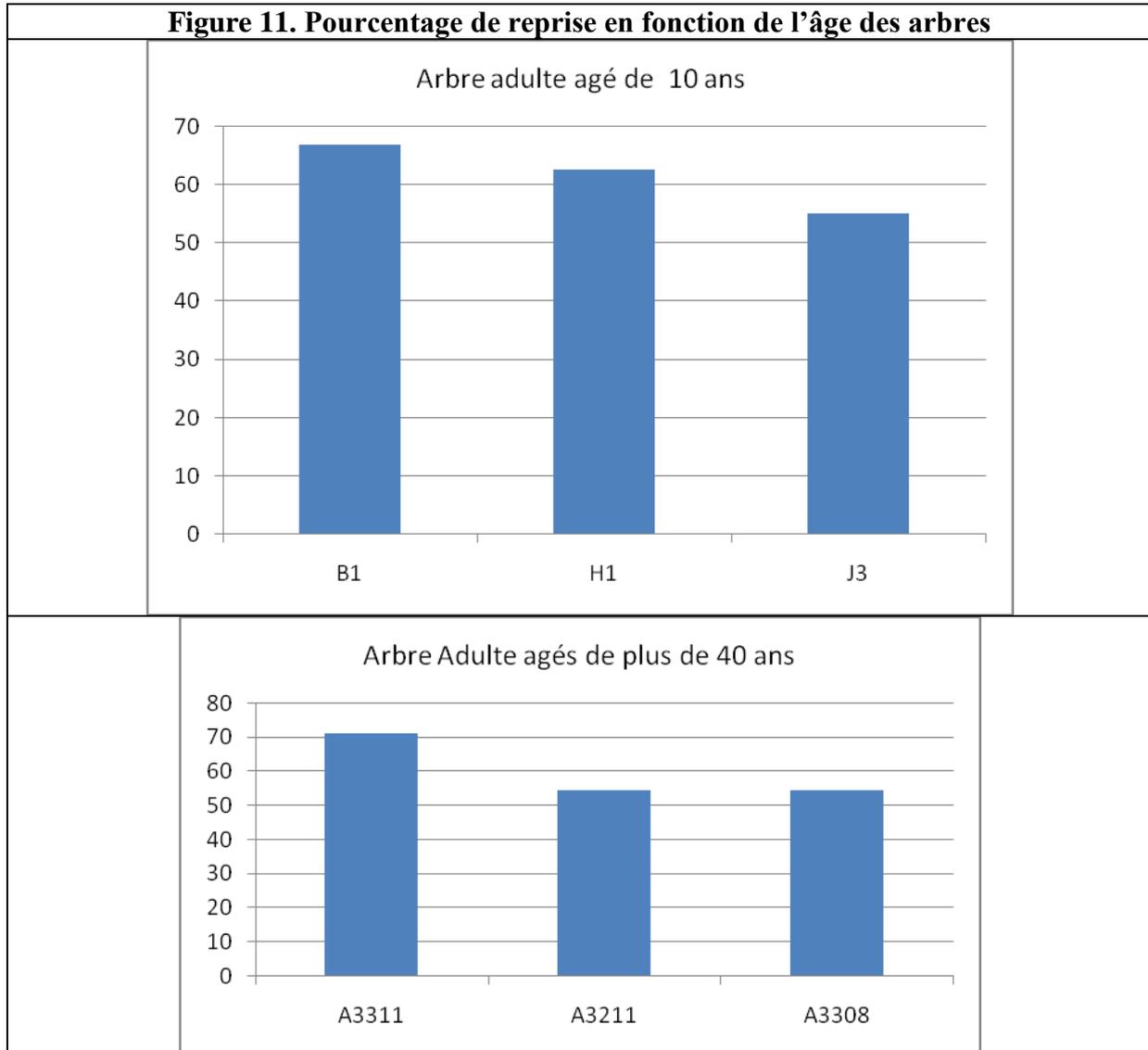


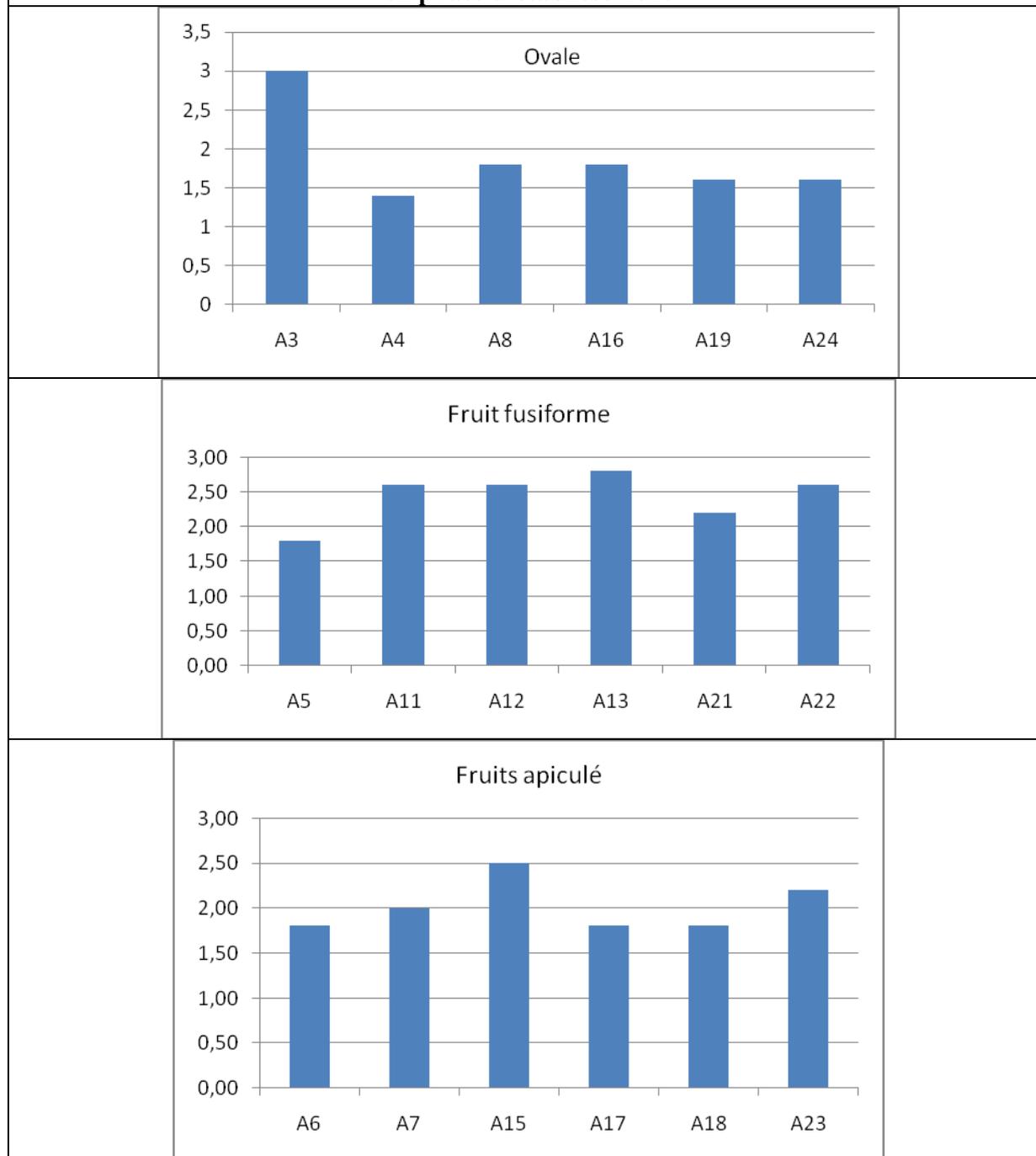
Figure 11. Pourcentage de reprise en fonction de l'âge des arbres



c2. Effet du génotype et de l'âge des arbres sur la multiplication par embranchement axillaire.

Le taux de multiplication varie de 0,5 à 3. Le taux le plus élevé est obtenu avec les explants issus des semis de l'individu A3 à fruit ovale (Figure 3) et le plus faible avec l'individu A3 ayant aussi des fruits ovales (Figure 12).

Figure 12. Effet de la taille des fruits sur la multiplication par embranchement axillaire en phase d'établissement



c3. Effet du type de bouture et de l'obscurité sur l'enracinement

Trois types de bouture ont été utilisés pour cet essai : bouture simple, double et touffe, après passage au milieu de pré-enracinement pendant 6 semaines, et dans le milieu d'induction racinaire, avec un séjour dans l'obscurité de 1, 2, 3, et 4 semaines. Après 4 semaines les observations ont révélé une abondance de production de cal et des pourcentages faibles d'enracinement (Tableau 2)

Tableau 2. Effet de l'obscurité et du type d'explants sur l'induction des racines

Type de bouture	Durée Obscurité en semaine			
	1	2	3	4
Simple	0	4.1	0	0
Double	0	0	0	4.1
Touffe	20.8	20.8	8.3	20.8



Photo 8. Exemple de pousses enracinées sous condition in vitro

d. Conclusion

Les résultats obtenus ont permis d'identifier quatre génotypes qui manifestent un taux de multiplication in vitro relativement élevé (plus de 2,5) et un taux d'enracinement acceptable. Les génotypes sélectionnés peuvent être utilisés pour une production de multiplication clonale ou pour des programmes d'inoculation par les souches de mycorhizes.

II.1.7. Symbioses mycorhiziennes

a- Objectifs

Ce volet de recherche a pour but l'exploration de la biodiversité des champignons mycorhiziens arbusculaires naturellement présents dans les arganeraies anciennes (peuplements de montagne), préalable à la sélection et l'évaluation de l'efficacité de souches mycorhiziennes inoculées sur la croissance et le taux de survie des jeunes plants en pépinière.

b- Méthodologie

Cette exploration a débuté lors de la mission d'Y. Prin, simultanément à la prospection des légumineuses naturelles spontanées. Elle a permis la récolte de racines et de sols sous arganeraies à différents niveaux d'anthropisation et sous des individus présentant des régénérations naturelles par semis ou non. Onze sites ont été prospectés, représentant un total de 13 échantillons de sols (Planches 1 et 2). En effet, dans les zones mises en défens, il est extrêmement étonnant de constater la coexistence d'arganiers présentant sous leur couverts une régénération spontanée, avec des individus ne présentant aucune régénération.

Les échantillons ont été conditionnés et envoyés pour partie au Laboratoire Commun (IRD/ISRA/UCAD) de Microbiologie de Dakar. Une autre partie est conservée à l'IAV. Sur la suggestion du Pr L. Kenny, c'est un permanent (technicien) de son laboratoire, Mr Abdelkarim Abouzid qui a été sélectionné pour acquérir la maîtrise des techniques de purification, de tri et de caractérisation des champignons arbusculaires à partir des sols, ainsi que des techniques d'estimation des taux de mycorhization racinaires. Mr Abouzid a donc effectué un séjour à Dakar sous la supervision du Dr R. Duponnois, Directeur de Recherche IRD et rattaché à l'UMR 82, et 2 séjours à Montpellier au LSTM de Baillarguet sous la supervision du Dr Y. Prin.

L'approche utilisée a été la suivante : pour chaque sol, les spores ont été extraites selon la méthode du tamisage humide et ce mélange de spores a été utilisé pour inoculer des plants de sorgho, espèce choisie comme plante multiplicatrice de cet extrait brut de spores. A l'IAV Agadir des jeunes plants d'arganiers cultivés sur sol stérilisé ont été inoculés soit par le sol d'origine, soit par les extraits de spores, soit par les racines de sorgho hachées. Après 3 mois de culture en serre les plants d'arganier ont été déracinés, les parties aériennes ont été mesurées (hauteur et poids sec) et les systèmes racinaires ont été éclaircis par traitement à l'hypochlorite de sodium. Après lavage et neutralisation ces systèmes racinaires ont été colorés au bleu trypan pour évaluation microscopique de la mycorhization. Une partie des systèmes racinaires a été conservée à -80°C dans le glycérol pour caractérisation moléculaire éventuelle des champignons endophytiques.

Parallèlement, les extraits de spores issus des sols bruts ont été triés phénotypiquement, photographiés et caractérisés microscopiquement.

Les principaux phénotypes de spores ont été caractérisés par PCR/séquençage de l'ADN ribosomique (ADNr 28S), confirmant les déterminations phénotypiques (Annexe 1).

c- Résultats

c1- Diversité des spores de 7 sols récoltés sous arganier :

La planche photographique en Planche 3 illustre la diversité des mélanges de spores d'endomycorhizes obtenues après purification : On peut constater que, dans toutes les situations représentées, on rencontre une grande diversité morpho-anatomique, comme illustré

dans la planche photographique en Planche 4. La planche photographique en Planche 5 illustre, après tri morpho-anatomique la diversité rencontrée sous arganier régénérant (présentant de nombreux jeunes rejets sous la canopée) par rapport à un arganier non-régénérant, sur le même site de l'IAV. La planche 6 illustre l'aspect de la mycorhization des systèmes racinaires de l'arganier inoculés avec les sols sous arganiers régénérants et non régénérants. Les vésicules et hyphes intracellulaires (« hyphal coils ») sont clairement visibles, dans les deux situations.

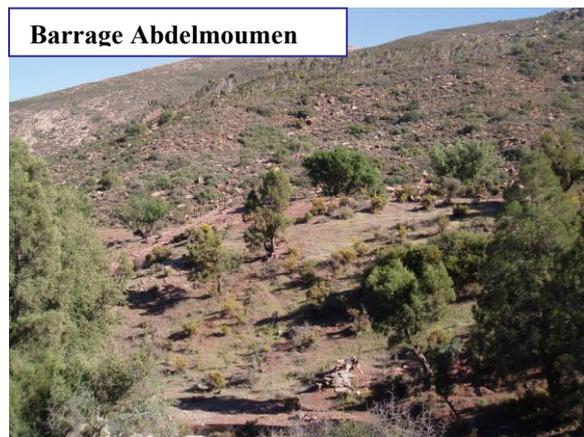
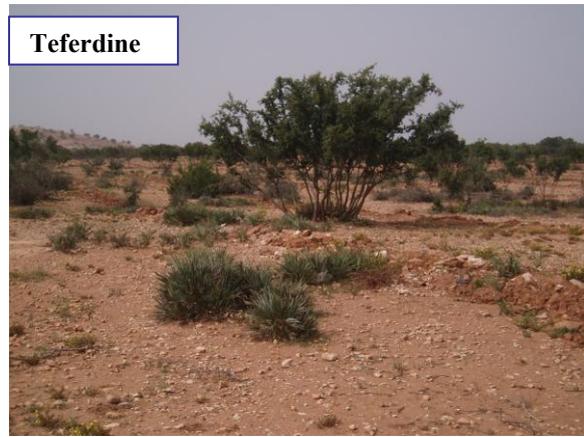
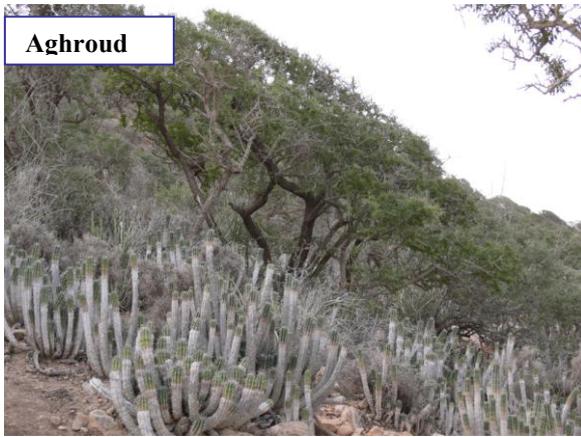
c2- Réponse de l'arganier à l'inoculation avec des sols bruts, avec des mélanges de spores purifiées des sols et des inoculums multipliés sur sorgho :

Les mesures réalisées sont la hauteur et le poids sec des parties aériennes. Les résultats sont présentés en Planche 7. Aucun effet significatif, ni par rapport au témoin, ni entre les différentes origines n'est observé en ce qui concerne la hauteur, quelles que soient les formes d'inoculum. Par contre, sur la biomasse des parties aériennes, un effet significatif est observé pour l'inoculum sol, mais pas pour les inoculums spores ni racines de sorgho. Pour l'inoculum sol c'est le sol d'origine arganier régénérant qui seul induit une réponse significative, avec un accroissement de poids sec de 75% par rapport au témoin non inoculé et de 69% par rapport au sol sous arganier non régénérant.

c3- Conclusion

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées quant à ce résultat. Le premier est une contamination des témoins non inoculé (par insecte, projection, manipulation accidentelle, gommant l'effet inoculation de la plupart des sites). Les examens microscopiques des systèmes racinaires des plants témoins devraient apporter une réponse à cet hypothèse. La seconde pourrait être une faible dépendance mycorhizienne de l'arganier ce qui serait en total contradiction avec des travaux précédents montrant chez l'arganier une forte dépendance mycorhizienne (Nouaim & Chaussod 1994, Nouaim et al 1994) et donc peu probable. La encore, l'examen microscopique systématique des systèmes racinaires permettra d'en savoir plus. Le seul traitement significatif (par rapport aux 20 autres inoculums et aux 3 témoins non inoculés), c'est à dire le sol sous arganier régénérant de la réserve CHA/IAV Agadir, semble indiquer que les inoculums mycorhiziens purifiés sous forme de mélange de spores d'une part ou sous forme de racines de sorgho inoculées, de la même origine géographique, ne comporte pas soit la souche mycorhizienne effective spécifique (celle-ci aurait été perdue ou non sélectionnée lors des phases d'extraction et/ou de multiplication). Une autre hypothèse serait que les arganiers au stade juvénile, présent en plus grande quantité sous l'arbre régénérant auraient enrichi le sol en une souche particulière de champignon AM, souche particulièrement efficace avec les jeunes germination de notre test en serre. Enfin une autre hypothèse serait la présence dans le sol sous arganier régénérant d'un cortège bactérien, perdu lors des traitements de purifications et de multiplication des spores et capable de faciliter la mycorhization ou l'efficacité de la mycorhization des jeunes plants. La poursuite des identifications moléculaires des champignons mycorhiziens présents dans les systèmes racinaires devrait apporter un certain nombre de réponses à ces hypothèses. Ce résultat qui serait à confirmer sur un plus grand nombre d'arganiers régénérants, est en tous les cas extrêmement prometteur quant au rôle de la communauté microbienne du sol dans la régénération de l'arganeraie marocaine.

Planche 1 : Sites d'échantillonnage de racines d'arganiers et de Légumineuses arbustives associées à l'arganier

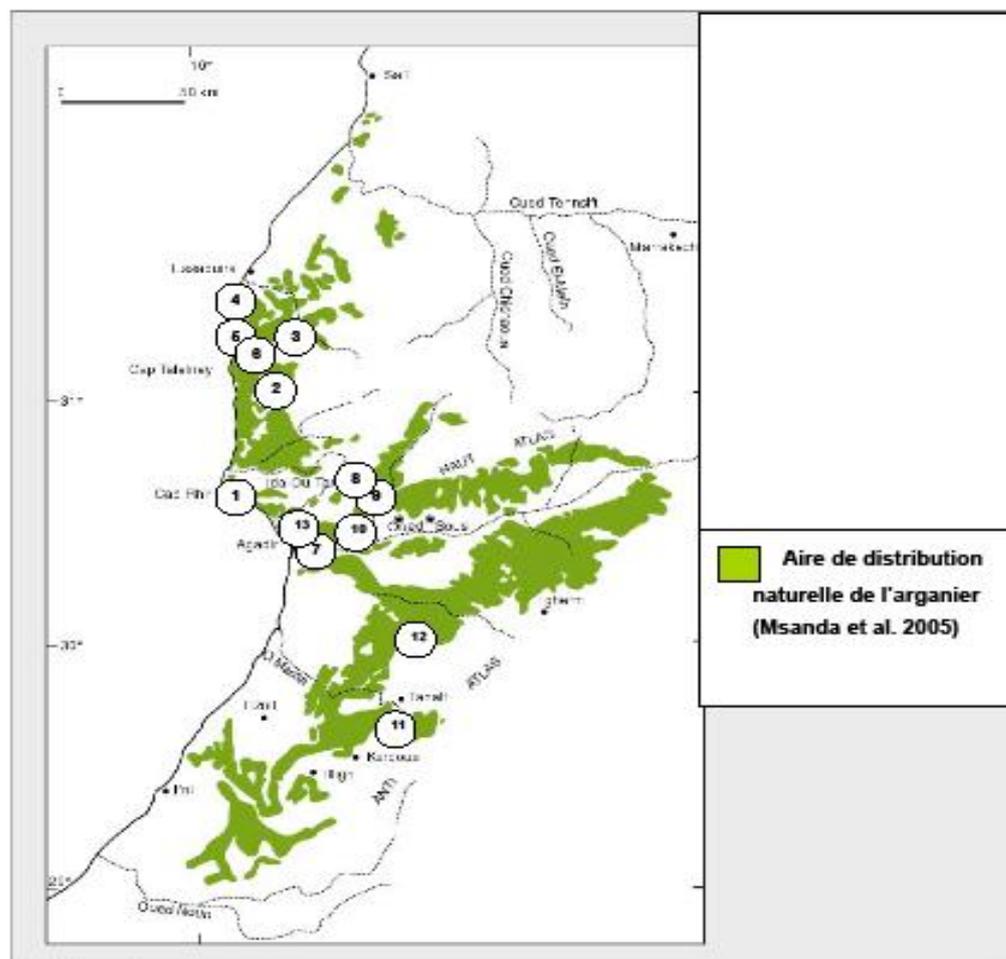


- Planche 1 (suite) : Sites d'échantillonnage de racines d'arganiers et de Légumineuses arbustives associées à l'arganier



- 1) Aghroud : Arganeraie sur sols rocheux calcaires littoraux dominée par *Euphorbia officinarum* et *Senecio* (= *Kleinia*) *anteuphorbium* en association avec *Acacia gummifera*, *Genista* spp., *Pistacia lentiscus* et *Lavandula* spp.
- 2) Teferdine : Taillis d'Arganiers à végétation adventice dominée par *Chamaerops humilis* et *Ononis natrix* (autres espèces présentes : *Withania frutescens* et *Lavandula* spp.).
- 3) Essaouira : Sols sableux littoraux à *Retama monosperma* et *Tetraclinis articulata*.
- 4) Bouzemour : Prairies sous arganiers dominées par *Ononis natrix* (autres espèces de Légumineuses présentes : *Acacia gummifera*, *Genista* spp. et *Chamaecytisus mollis*).
- 5) Tamaït : Réserve de la Société Minière d'Explosifs entièrement clotûrée dominée par l'association Arganier-*Acacia gummifera* avec strate arbustive représentée par *Rhus* spp., *Zizyphus* spp., *Withania frutescens* et *Lavandula* spp.
- 6) Barrage Abdelmoumen : Association Arganier-*Tetraclinis articulata* avec strate arbustive dominée par *Genista* spp.
- 7) Ikherdiden : Arganeraie dominée par l'oléastre, *Tetraclinis articulata* et *Genista* spp. (autres espèces présentes : *Pistacia lentiscus*, *Rhus* spp. et *Lavandula* spp.).
- 8) Douar Ighaline : Arganeraie sur sols sableux avec strate arbustive éparse dominée par *Retama monosperma*, *Genista* spp. et *Zizyphus lotus*.
- 9) Réserve IAV Agadir : Réserve entièrement clotûrée dominée par l'association Arganier-*Acacia gummifera* avec strate arbustive représentée principalement par *Chamaecytisus mollis*, *Rhus* spp., *Zizyphus* spp. et *Withania frutescens*.

- Planche 2 : Localisation des sites de prélèvement au sein de l'arganeraie



- 1 : Aghroud
- 2 : Teferdine
- 3 : Imgrad
- 4 : Essaouira
- 5 : Bouzemour
- 6 : Tafna
- 7 : SME Tamait
- 8 : Douar Aoudjou
- 9 : Barrage Abdelmoumen
- 10 : Ikherdiden
- 11 : Douar Ighaline
- 12 : Ait M'sal
- 13 : IAV Agadir

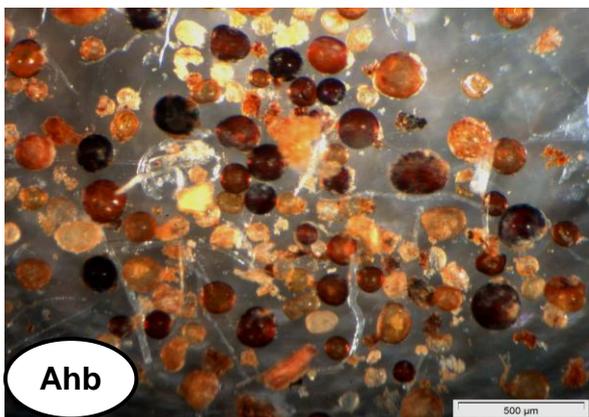
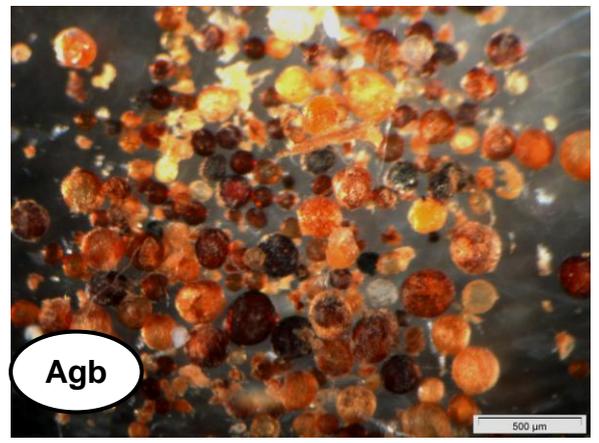
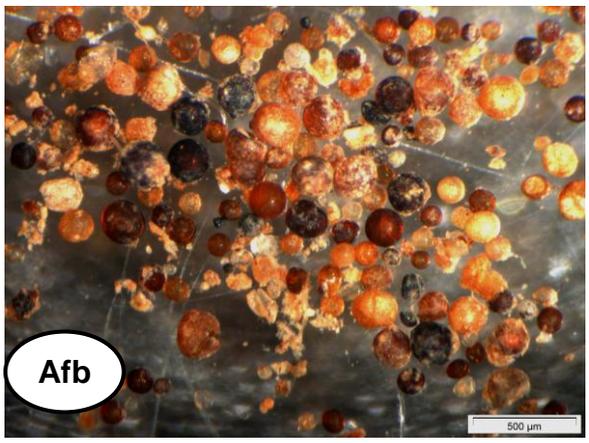
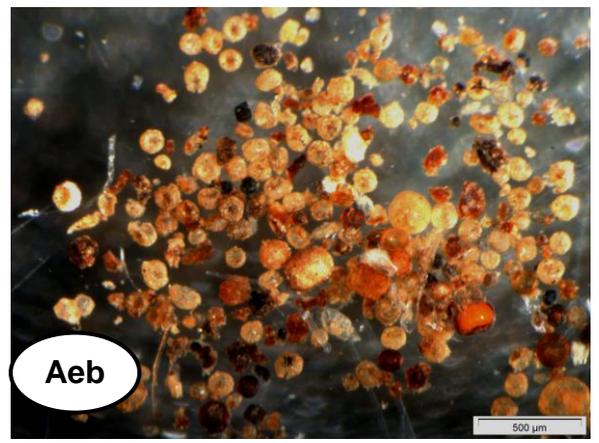
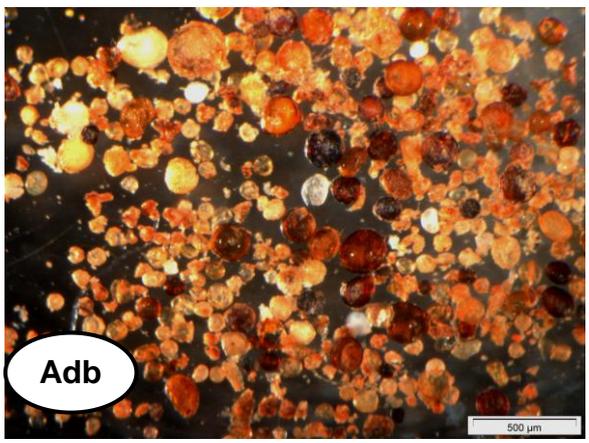
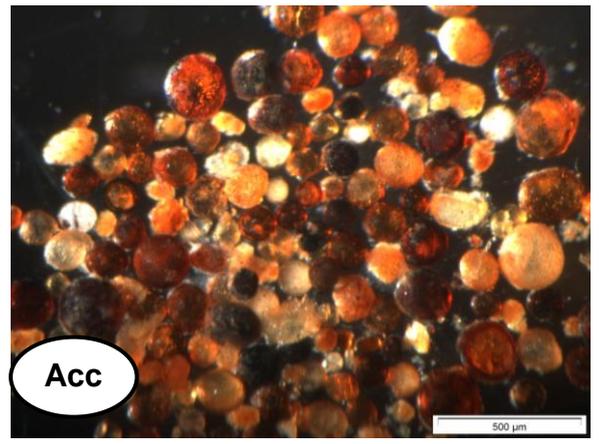
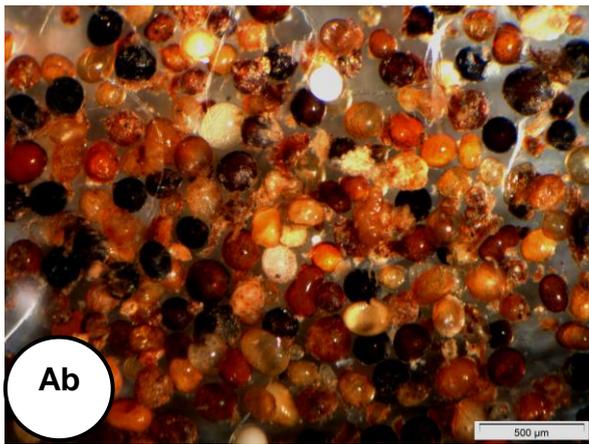
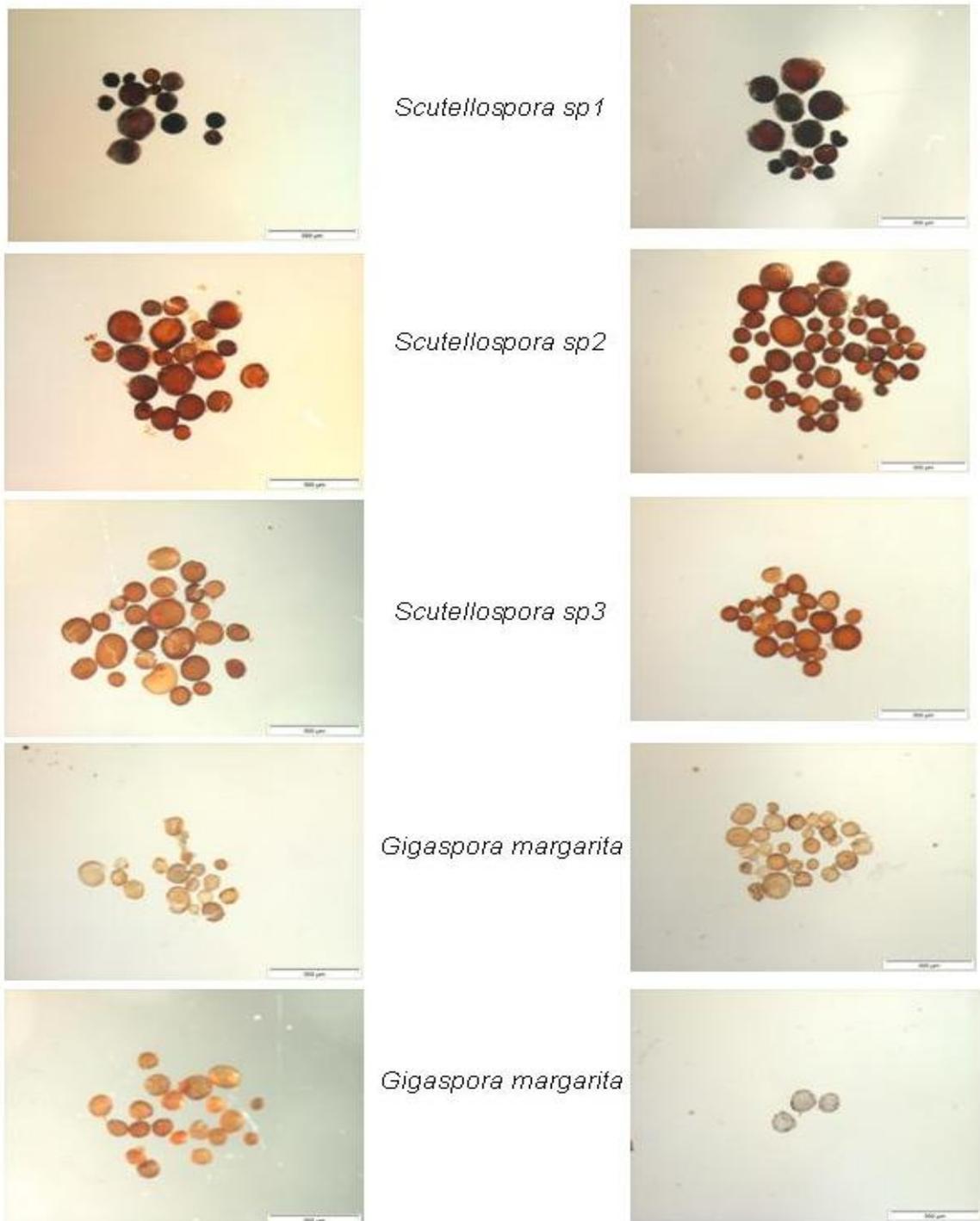


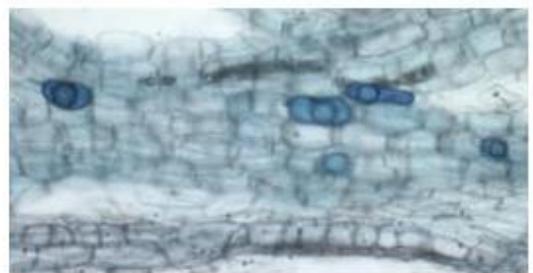
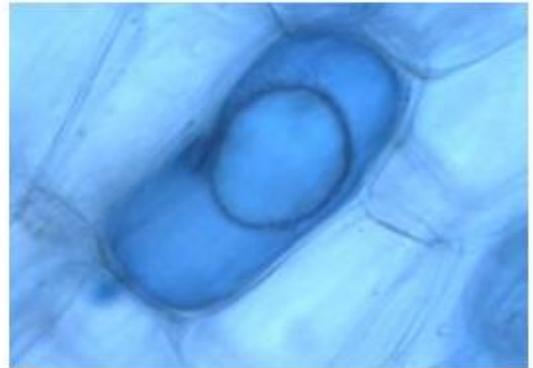
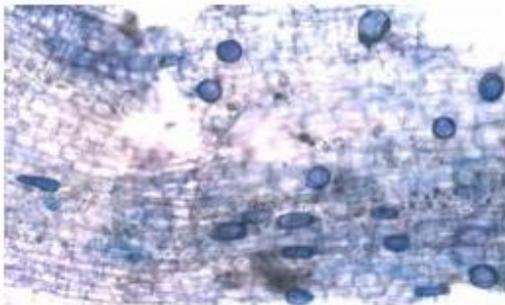
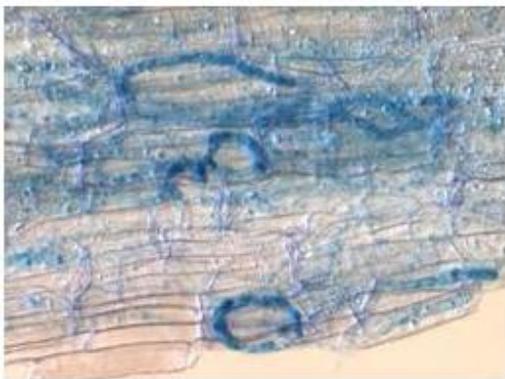
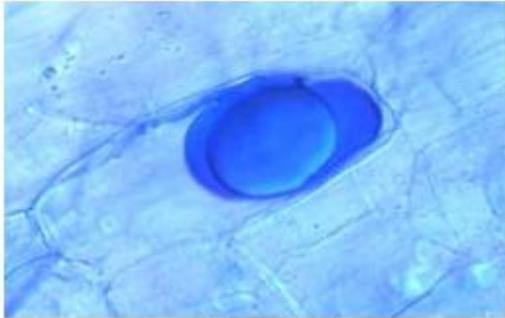
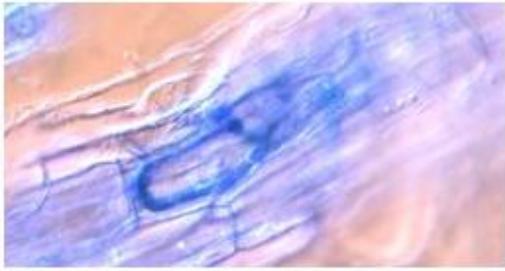
Planche 3 : Aspect global des mélanges de spores mycorhiziennes extraits des sols sous arganiers dans 7 arganeraies naturelles : **Ab** : Ikherdiden, **Ac** : Réserve CHA/IAV régénération, **Ad** : Barrage Abdelmoumen, **Ae** : SME/Tamaaite, **Af** : Réserve CHA/IAV sans régénération, **Ag** : CHA/IAV parcelle essai 10ans, **Ah** : Douar Ighaline.



Ac : Arganier avec régénération

Af : Arganier sans régénération

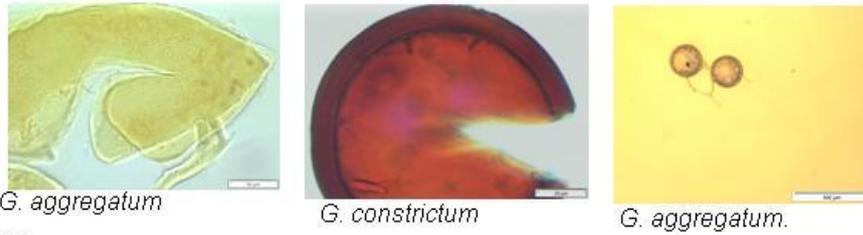
Planche 4 : Comparaison, pour un même site, en défens de puis plus de 30 ans (la Réserve CHA/IAV Agadir), de la diversité des spores des sols récoltés sous arganier régénérant (**Ac**) et non régénérant (**Af**).



Ac : Arganier avec régénération

Af : Arganier sans régénération

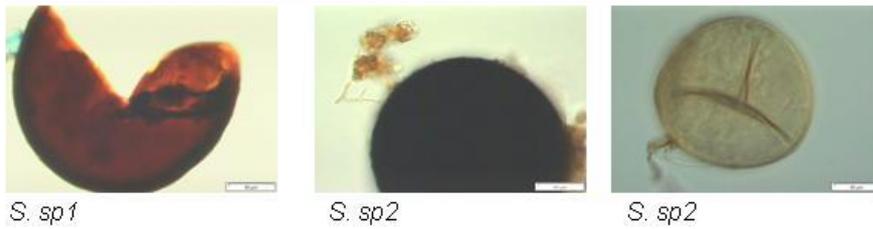
Planche 5 : Mycorhization arbusculaire des racines de jeunes arganiers inoculés avec du sol récolté sous arganiers régénérants (Ac) et non régénérants (Af)



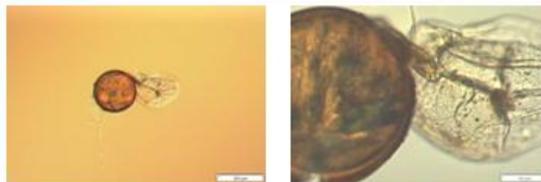
Glomus sp



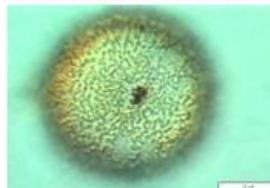
Gigaspora margarita



Scutellospora sp



Entrophospora infrequens



Acaulospora sp

Planche 6 : Taxons de Glomeromycetes les plus fréquents sous arganiers (arganeraies naturelles), tout site confondu.

II.2 - Optimisation des agrosystèmes à base d'arganier (Action 2.2)

Cette action se décline en 3 activités :

- 1 : Etude des associations arganier/cultures traditionnelles
- 2 : Etude du comportement de légumineuses arbustives fourragères et de cultures à forte valeur ajoutée
- 3 : Sondage et enquête relative à l'effet des arbres sur les cultures et les sols
-

II.2.1 - Etude des associations arganier/cultures traditionnelles

a- Objectifs

Cette activité a pour but d'étudier l'impact de cultures vivrières traditionnelles sur le fonctionnement et le rendement des agro-écosystèmes à base d'arganiers qui n'a jamais fait l'objet d'études approfondies auparavant. Les points suivants seront plus particulièrement abordés : évaluation de la productivité des cultures d'orge et de Légumineuses en association avec l'arganier au cours de rotations successives ; estimation de la quantité d'azote fixé par les Légumineuses à graines cultivées (petit pois, fève, lupin) ; effet éventuel des différentes cultures sur la croissance des arganiers associés. Les activités de recherche proposées doivent permettre d'évaluer les atouts de systèmes de production à faibles intrants intégrant la culture de Légumineuses dans des rotations de culture et de proposer des itinéraires techniques innovants au sein d'arganeraies plantées.

b- Dispositifs expérimentaux

Les recherches ont débuté par la définition et la mise en place conjointe d'essais agroforestiers associant l'arganier et des cultures annuelles. Les dispositifs, présentés dans le rapport de JM Harmand ont été mis en place à l'IAV Agadir début mars 2007, avec des arganiers de 1 et 10 ans, en combinaison avec : orge, fève, lupin, petit pois ou en jachère. En fin de cycles culturaux (2007 et 2008), les données suivantes ont été mesurées : croissance des arganiers et des cultures, production en grains, potentiel fixateur d'azote des légumineuses (fève, lupin et petit pois), et effet des cultures sur l'évolution de la fertilité des sols.

II.2.1.1 - Productivité des cultures d'orge et de Légumineuses en association avec l'arganier au cours de rotations successives

a. Introduction

Le présent rapport traite l'effet de l'interaction mutuelle entre des cultures annuelles sous-jacentes fixatrices (légumineuses) et non fixatrices d'azote (orge) et l'arganier. Le système de culture consiste en l'exploitation optimale du terrain de l'arganeraie par la mise en culture, en intercalaire avec des arbres d'arganiers, d'espèces vivrières et/ou de nature à améliorer la fertilité du sol. Le plan d'assolement est composé de successions culturales biennales: céréale/légumineuse, légumineuse/céréale, légumineuse/légumineuse, jachère/légumineuse, légumineuse/jachère, jachère/céréale et céréale/jachère. La mise en culture s'est déroulée dans deux parcelles d'arganiers jeunes et adultes plantés, à l'instar des vergers arboricoles, dans la ferme expérimentale de l'IAV Hassan II-Complexe Horticole d'Agadir. L'évaluation de la croissance et de la productivité des cultures est réalisée durant deux saisons agricoles (2006-07 et 2007-08).

b. Installation des cultures associées à l'arganier

Les essais sont conduits dans deux parcelles d'arganiers d'âges différents. La première comprend des arbres adultes productifs, plantés en Septembre 1996 et la seconde comprend des arganiers jeunes,

plantés en Mars 2007 à l'âge d'une année. Les distances de plantation sont respectivement de 3 x 4 mètres et 2,5 x 2,5 mètres. Les plants sont issus de semis. Les espèces utilisées en culture associée sous-jacente à l'arganier sont des légumineuses fixatrices d'azote (Fève, Petit pois, Lupin) et l'orge comme culture céréalière. Deux cycles de culture en rotations successives ont été pratiqués durant les saisons 2006-07 et 2007-08.

La parcelle d'arganiers adultes (Parcelle 1) est divisée en neuf parcelles expérimentales (blocs) de 108 m² où les cultures sous-jacentes utilisées (Petit pois, Orge) et la jachère (terrain non cultivé) sont réparties, en trois répétitions, selon le dispositif expérimental "Carré latin". Chaque parcelle expérimentale comprend 4 arbres d'arganiers sur lesquels sont portées des observations de croissance.

Les espèces cultivées dans la parcelle des jeunes plants d'arganiers (Parcelle 2) sont le Petit pois, la Fève, le Lupin et l'Orge. La parcelle est divisée en 5 blocs (ou répétitions) avec 5 unités expérimentales chacune. Les quatre cultures sous-jacentes et la jachère (soient 5 traitements au total) sont réparties au hasard au sein de chaque bloc. Chaque unité expérimentale comprend 4 arbres d'arganiers et mesure 20 m².

c- Description de l'itinéraire technique de conduite des cultures

Les cultures sous-jacentes à l'arganier ont été conduites de la même manière et ont reçu les mêmes traitements dans les deux parcelles. Les principales opérations effectuées sont décrites ci-dessous :

- Préparation du sol

Un labour est effectué à l'aide de la charrue à 3 disques suivi de deux passages croisés avec le cover-crop ; ce travail du sol permet d'ameublir et d'aérer le sol, il est effectué à une profondeur de 25 à 30 cm. Ce travail est suivi du nettoyage (épierrage) et du nivellement du terrain tout en cassant les mottes ; le lit de semis est ainsi bien préparé.

- Installation du système d'irrigation : Il s'agit d'un système d'irrigation localisée en "T-Tape". Les rampes sont placées à 50 cm l'une de l'autre et les distances entre goutteurs sont de 20 cm ; le débit de chaque orifice (goutteur) est de 1 litre par heure soit une pluviométrie de 10 mm par heure.

- Application d'une pré-irrigation : Une irrigation de 5 heures (50 mm) est appliquée avant le semis des graines. Elle permet d'humidifier le sol afin de permettre une meilleure germination.

- Le semis : Le semis est effectué en ligne ; les graines sont placées manuellement le long d'une raie de 4 à 5 cm de profondeur, puis recouvertes de terre humide. Le nombre de graines par mètre linéaire et le nombre de lignes par parcelle élémentaire ainsi que les taux de germination des graines sont donnés dans le tableau 1.

- Taille des arganiers adultes : La taille des arganiers adultes a consisté en la suppression des rejets au niveau du tronc, en un élagage des gourmands et des branches mal placées et en une réduction de la hauteur des arbres. La couronne est bien éclaircie, son volume est réduit de manière à ne pas trop ombrager les cultures sous-jacentes.

- L'irrigation : Des apports d'eau sont effectués à partir de la levée des plantules jusqu'à 15 jours avant la récolte à raison de 45 minutes par irrigation et à une fréquence d'une fois par 2 jours. La pluviométrie apportée s'élève à 7,5 mm par apport soit une dose annuelle de 337,5 mm (45 apports pour un cycle de culture de 3 mois).

- Désherbage : La lutte contre les mauvaises herbes est effectuée manuellement à l'aide d'une binette à raison d'une fois par 15 jours.

- **Protection sanitaire** : Les plantes sont maintenues saines par des traitements chimiques tels que le Décis, orienté contre les insectes, et les produits à base de cuivre et à base de soufre utilisés respectivement contre le mildiou et l'oïdium (maladies cryptogamiques).

- **La récolte** : Elle est effectuée sur des placettes de surface égale à 1 m². Le nombre de placettes par unité expérimentale est de 8 pour la parcelle des arganiers adultes (Figure 1) et de 4 pour la parcelle des jeunes arganiers (Figure 2). Ces placettes sont localisées le plus proche possible des pieds d'arganiers. La récolte consiste à faucher, au ras du sol, toutes les plantes cultivées comprises dans la placette. Les dates de semis et de récolte sont données par le tableau 2.

- **Enfouissement de la matière végétale**: Après avoir procédé aux observations de pesages et de mensurations, les tiges sont restituées à leurs endroits respectifs pour être enfouies dans le sol avec les résidus des cultures (chaume et mauvaises herbes). Deux passages croisés à la charrue à 3 disques ont permis de bien mélanger cette matière végétale avec le sol dans un horizon de 0-30 cm de profondeur. Ainsi, le sol est resté en repos jusqu'à la mise en place du deuxième cycle de culture pour lequel ce même itinéraire technique est adopté.

- **Système de rotation des cultures** : Le nombre d'espèces cultivées ne nous a pas permis de boucler la rotation durant les deux années du projet (2007 et 2008); une seule succession de culture des différentes espèces utilisées a été, donc, pratiquée (Tableau 4 et 5).

d- Productivité des cultures intercalaires

Les principaux paramètres retenus dans l'évaluation de la productivité des espèces cultivées en intercalaire avec l'arganier sont :

- Le poids des gousses,
- Le diamètre des graines,
- La longueur des tiges,
- Le poids des épis,
- Le nombre de graines par épi

Ces paramètres traduisent l'aptitude de production et de croissance des plantes. Les valeurs obtenues sont des moyennes de 20 échantillons de cultures prélevées dans chaque placette de 1 m². Le nombre de placettes par unité expérimentale (ou culture) est de 4 pour la parcelle des jeunes arganiers et de 8 pour la parcelle des arganiers adultes.

d1- Cultures associées à l'arganier adulte

Les cultures utilisées sont le Petit pois et l'Orge. La première année de culture (2007), l'orge n'a pas produit d'épi en raison probablement du semis tardif (21 Mai 2007). Les résultats obtenus sont portés dans les tableaux 6 et 7. Il en ressort que pour une même culture, la production et la hauteur des plantes sont meilleures en 2008 qu'en 2007. En 2008, les précédents culturaux pour le petit pois et pour l'orge sont respectivement l'orge et la jachère ; ils ne constituent donc pas une source d'azote étant donné qu'ils ne peuvent pas le fixer dans le sol. Par conséquent, ils ne sont pas à l'origine de l'augmentation des rendements et de la croissance du petit pois et de l'orge cultivés en 2008. Le semis précoce (Décembre 2007) et l'enrichissement du sol en matière organique (enfouissement des résidus du précédent cultural) pourraient expliquer cette amélioration de la production.

d2- Cultures associées aux jeunes arganiers

Dans la parcelle des jeunes arganiers, les cultures utilisées en intercalaire sont : le petit pois, la fève, le lupin et l'orge. La production et la hauteur des plants sont, en générale, plus élevées en 2008 qu'en 2007 (Tableaux 8, 9, 10 et 11). L'effet du précédent cultural est bien marqué. Quand il s'agit d'une légumineuse comme précédente, la culture suivante utilisée voit ses performances améliorées par rapport à ce qu'il est obtenu quand cette même culture suit l'orge ou la jachère.

e- Croissance des arbres d'arganier

Dans la nature, l'arganier pousse très lentement. Intégrée dans un système de production intensif, cette espèce se doit d'être stimulée dans sa croissance végétative pour des fins de formation de l'arbre est probablement pour sa fructification aussi. Pour cet effet, l'utilisation des légumineuses, en culture intercalaire avec l'arganier, pourrait constituer un système agro forestier adéquat. Les résultats ci-dessous illustrent ce point de vue (Tableaux 12 et 13). Compte tenu de l'hétérogénéité remarquée entre arbres d'arganier et entre rameaux du même arbre, les résultats de croissance obtenus sont transformés en terme de 'taux de croissance relative par mois'. Cette forme des données nous permettra de faire des comparaisons entre traitements (successions de cultures) sans aucune ambiguïté.

e1- Arbres d'arganiers adultes

Dans chacun des blocs (Figure 1), contenant quatre arbres d'arganiers, cinq rameaux par arbre sont repérés tout autour de la couronne. La longueur de ces rameaux est mesurée depuis leur empatement jusqu'au bourgeon terminal et ce, pendant les années 2007 et 2008. A l'état initial, la longueur des rameaux est très variable compte tenu de la grande hétérogénéité connue chez l'arganier.

Les résultats soulignent (Tableau 12) une rapide croissance des rameaux durant la période du 15 Mai au 20 Novembre 2007. L'accroissement en longueur dépasse 30 % par mois, puis il chute de

manière drastique pour atteindre 4 % par mois entre le 20 novembre 2007 et le 19 Mai 2008 et enfin il se stabilise, durant la période du 19 Mai au 17 Août 2008, à des valeurs faibles et variables selon le type de successions culturales. Il atteint 2,1 ; 3,6 et 2,9 % par mois respectivement chez les arbres ayant pour succession de culture : petit pois/jachère, jachère/orge et orge/petit pois.

La grande rapidité de croissance observée entre le 15 Mai et le 20 Novembre 2007 est expliquée par la réaction positive des arbres à l'opération de "la taille" effectuée quelques jours avant le semis des cultures. Cette taille était tellement sévère que les arbres ont réagi par une importante vigueur de croissance masquant, ainsi, l'effet des successions de cultures sous jacentes. En effet, l'accroissement moyen enregistré durant toute la période de mise en culture (15 Mai 2007 et 17 Août 2008) ne varie pas sensiblement d'un type de succession à l'autre. Les valeurs obtenues sont égales à 18,97 ; 22,03 et 19,63 respectivement pour les successions : Petit pois/jachère, jachère/orge et orge/petit pois.

e2- Jeunes arbres d'arganiers

Les relevés de croissance concernent la hauteur des arbres mesurée à partir du sol jusqu'au bourgeon terminal le plus haut. Chaque unité expérimentale comprend quatre arbres (Figure 2). Les taux d'accroissement relatif moyen par mois sont donnés, pour chacune des successions culturales utilisées, dans le tableau 13.

La croissance des jeunes arganiers durant la période du 02 Avril 2007 au 06 Février 2009 est influencée par la présence des cultures intercalaires. La plus rapide croissance est enregistrée dans les parcelles ayant reçu deux cultures légumineuses en succession. En moyenne, les taux d'accroissement relatifs des arbres, obtenus durant la période du 02 Avril 2007 au 06 Février 2009, sont 21,31 ; 10,45 et 9,75 % par mois respectivement pour les parcelles occupées par les successions "Légumineuse / Légumineuse", "Légumineuse / Céréale ou Céréale / Légumineuse" et "Légumineuse / Jachère ou Jachère / Légumineuse".

f- Interaction de l'arganier avec les cultures sous jacentes

Compte tenu de l'état juvénile des arganiers de la parcelle 2 (les arbres ne sont pas encore entrés en production fruitière), seul le paramètre "croissance" des tiges, évalué aussi bien pour les arbres que pour les cultures intercalaires, est pris en considération dans l'analyse de l'effet de l'interaction mutuelle entre les arbres d'arganiers et les cultures sous jacentes (Figures 3 et 4).

f1- Arganiers Adultes

L'accroissement relatif moyen des rameaux reste élevé chez tous les arbres observés (Figure 3). Il varie entre 18,97 et 22,03 % par mois respectivement avec les successions Petit pois/Jachère et Jachère / Orge. Les rameaux des arbres, se trouvant avec la succession de culture Orge / Petit pois, se sont allongés de 19,63 % par mois. On constate que le plus grand accroissement est obtenu dans la parcelle ayant reçu une succession culturelle ne comprenant pas de légumineuse. En outre, l'intervalle de variation des valeurs de l'accroissement est restreint ce qui signifie que les arbres ont manifesté une aptitude de croissance sensiblement identique. On peut, ainsi, avancer que pour les arganiers adultes et sous nos conditions expérimentales, les successions culturales adoptées n'interféreraient pas sur la croissance des arbres. Par contre, l'important accroissement (19 à 22 % par mois) enregistré chez tous les arbres est inhérent à la réaction très positive des arbres à l'opération de la "taille" à caractère sévère, effectuée juste avant la mise en place des cultures intercalaires.

f2- Jeunes arbres d'arganiers

La figure 4, illustre la relation entre la longueur (en cm) des tiges des cultures et l'accroissement des arganiers (en % par mois), réalisé entre le 02 Avril 2007 au 06 Février 2009. Les résultats montrent

que la rapidité de la croissance des arganiers varie entre 2,78 et 25,33 et % par mois. Ce large intervalle entre les valeurs minimale et maximale met en relief l'interférence des cultures intercalaires dans l'aptitude de croissance des jeunes arbres d'arganiers. En effet, les valeurs importantes de croissance des arganiers sont rencontrées dans les parcelles ayant reçu deux légumineuses de suite. Cette stimulation de la croissance observée chez les arganiers pourrait s'expliquer par le fait que les arbres bénéficient de l'azote supplémentaire fixé, dans le sol, par les légumineuses. Concernant la croissance des cultures sous jacentes, elle est jugée satisfaisante car, mis à part le lupin, toutes les autres cultures ont donné des tiges avec des hauteurs supérieures à 72 cm et ce, quelle que soit la succession culturelle adoptée. La hauteur du Lupin varie entre 30,10 cm pour le cas de la succession : Petit pois/Lupin et 33,75 cm pour la succession : Orge/Lupin. En raison de leur jeune âge (2^{ème} année de plantation) les arganiers ne paraissent pas interférer dans la croissance des cultures utilisées en intercalaire.

g. Conclusion

Au terme de cette succincte analyse des résultats obtenus, relatifs à l'étude de l'interaction des arganiers avec des cultures sous jacentes, et sous les conditions de notre expérimentation, nous pouvons conclure que :

- Deux cycles de cultures sont insuffisants pour pouvoir d'une part, boucler le système de rotation entre les cultures utilisées et d'autre part, arriver à modifier la fertilité du sol par des cultures répétées et par conséquent, les résultats ne peuvent être que préliminaires et dans tous les cas ils restent encore fragmentaires.
- L'utilisation de cultures légumineuses en intercalaire avec de jeunes arganiers améliore la croissance de ces derniers. L'importance de ce résultat réside dans le fait que les plantules d'arganiers transplantés au champ nécessitent d'être stimulées dans leur croissance durant les premières années de leur développement.
- La succession : Légumineuse / Légumineuse a montré plus d'effet sur la croissance des jeunes arganiers que les autres types de successions culturelles utilisées.
- Les arganiers adultes n'ont pas répondu à l'effet des cultures intercalaires. Par contre, ils ont réagi de manière sensible, quant à leur croissance, à l'opération de "la taille".
- L'optimisation des écosystèmes agro forestiers à base de plantations d'arganiers devrait envisager des cultures en intercalaire de types : légumineuse, céréale et fourrage utilisés dans un système de rotation adéquat.

Tableau 3. Densités de semis et taux de germination des graines chez les cultures sous jacentes à l'arganier adulte (parcelle 1) et à l'arganier jeune (parcelle 2)

Parcelles	1 : Arganiers adultes		2 : Jeunes arganiers			
	Orge	Petit pois	Orge	Petit pois	Fève	Lupin
Distance de semis entre graines (en cm)	1,5	10	1	10	25	20
Distance de semis entre lignes (en cm)	25	25	25	25	50	25
Nombre de lignes par unité expérimentale	42	42	10	10	5	10
Nombre de graines par mètre linéaire	66	10	112	10	4	5
Nombre de graines par unité expérimentale	24948	3780	10625	960	195	440
Taux (%) de germination (2007)	20,7	71,3	37,7	31,8	55,0	61,0
Taux (%) de germination (2008)	15,8	84,8	43,2	46,3	62,0	67,8

Tableau 4. Dates de semis et de récoltes des cultures sous jacentes à l'arganier

Parcelle	Année	Cultures	Semis	Récolte
1 : Arganiers adultes	2007	Orge	21/05/07	-
		Petit pois	23/05/07	23/08/07
	2008	Orge	11/12/07	03/06/08
		Petit pois	11/12/07	08/04/08
2 : Jeunes arganiers	2007	Orge	13 et 14/03/07	11 au 17/07/07
		Petit pois	13 et 14/03/07	11 au 14/06/07
		Fève	13 et 14/03/07	25 au 28/06/07
		Lupin	13 et 14/03/07	03 au 05/06/07
	2008	Orge	13/12/07	10 au 14/06/08
		Petit pois	13/12/07	12 au 16/04/08
		Fève	13/12/07	22 au 24/04/08
		Lupin	13/12/07	28/04 au 05/05/08

Tableau 5. Succession culturelle durant les saisons 2007/2008 pour chacun des blocs de la parcelle 1.

12 m ²		
Bloc C : Orge/P pois	Bloc F : Jachère/orge	Bloc I : P pois/Jachère
Bloc B : Jachère/Orge	Bloc E : P pois/Jachère	Bloc H : Orge/P pois
Bloc A : P pois/Jachère	Bloc D : Orge/Petit pois	Bloc G : Jachère/Orge

9 m²

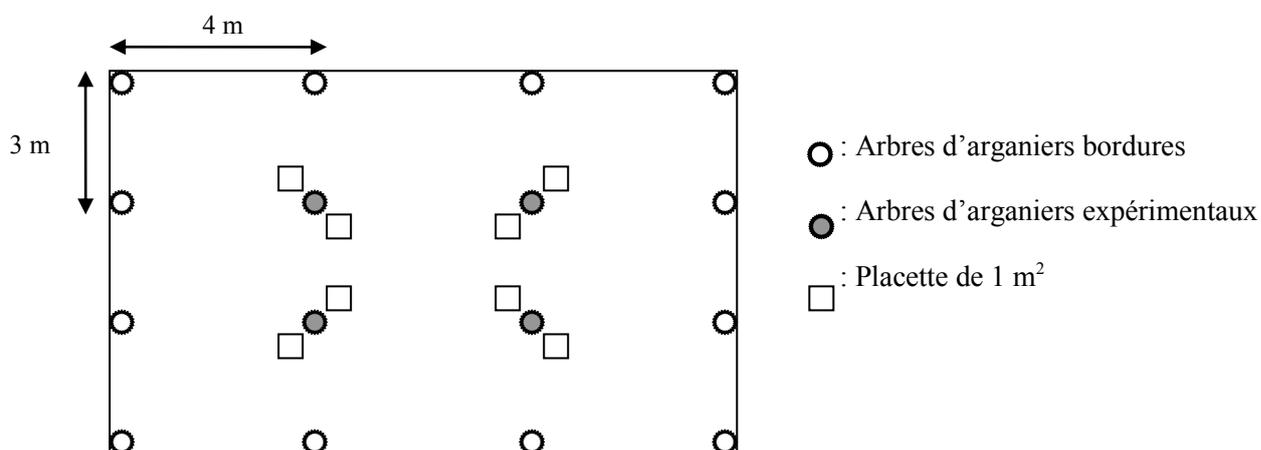


Figure 13. Schéma et disposition des placettes de 1 m² dans un bloc expérimental de culture associée à l'arganier adulte (parcelle 1)

Tableau 6. Succession des cultures associées aux jeunes arganiers durant les saisons 2007/2008 pour chacun des blocs de la parcelle 2

Unités expérim.	1	2	3	4	4
Bloc A	P pois/Lupin	Lupin/Jachère	Jachère/Orge	Orge/Fève	Fève/P pois
Bloc B	Orge/Jachère	Jachère/P pois	P pois/Fève	Fève/Lupin	Lupin/Orge
Bloc C	Jachère/Fève	Fève/Orge	Orge/Lupin	Lupin/P pois	P pois/Jachère
Bloc D	Fève/P pois	P pois/Lupin	Lupin/Jachère	Jachère/Orge	Orge/Fève
Bloc E	Lupin/Orge	Orge/Fève	Fève/P pois	P pois/Jachère	Jachère/Lupin

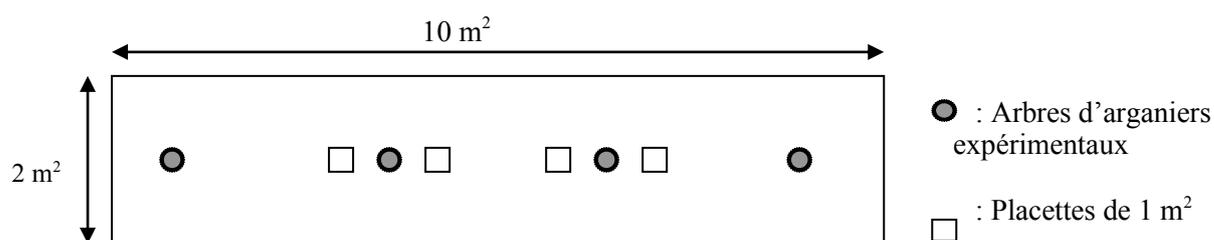


Figure 2. Schéma et disposition des placettes de 1 m² dans une unité expérimentale de culture associée aux jeunes arganiers (parcelle 2)

Tableau 7. Composantes de rendement des cultures sous jacentes aux arganiers adultes

Culture	Petit pois				Orge			
	Bloc/ Précédent	P/gousse	D/graine	L/tige	Bloc/ Précédent	P/épi	Graine/ épis	L/tige
2007	A: sol nu	4,62 (1,80)	0,64 (0,12)	59,21 (8,77)	C:sol nu	-	-	-
	E: sol nu	3,63 (2,98)	0,70 (0,11)	46,61 (12,23)	H: sol nu	-	-	-
	I: sol nu	3,09 (1,30)	0,67 (0,14)	49,95 (9,77)	G: sol nu	-	-	-
2008	C:Orge	4,54 (1,13)	0,69 (0,12)	74,69 (21,44)	B:Jachère	1,66 (1,65)	23,52 (5,09)	84,03 (11,97)
	D:Orge	5,15 (1,39)	0,72 (0,11)	70,13 (26,10)	F:Jachère	1,67 (0,52)	22,18 (9,31)	84,21 (9,50)
	H:Orge	4,37 (1,25)	0,74 (0,14)	76,72 (23,79)	G:Jachère	1,14 (0,29)	20,36 (4,07)	88,03 (12,57)

NB : Les chiffres entre parenthèses sont des écarts types

P : Poids (en g); D : Diamètre (en mm); L : Longueur (en cm) ; - : Récolte nulle

Tableau 8. Rendement, en grammes par placette de 1 m², des cultures associées à l'arganier adulte (Parcelle 1)

Année	2007			2008					
	Bloc	P pois	Bloc	Bloc	Précédent	P pois	Bloc	Précédent	Orge
	A	271,16	C	C	Orge	860,50	B	Jachère	250,60
	E	257,79	D	D	Orge	1018,75	F	Jachère	306,25
	I	295,63	H	H	Orge	736,88	G	Jachère	195,18
Moy Totale	274,86	Moy Totale	0,00	Moy Totale		872,04	Moy Totale		250,68
Ecartype	63,58	Ecartype	0,00	Ecartype		299,37	Ecartype		67,64

Tableau 9. Composantes de rendement des cultures sous jacentes aux jeunes arganiers (année 2006-07)

Cultures	P/gousse	D/graine	L/Tige	P/épi	Graine/épi	L/Tige
Lupin	4,81 (2,87)	0,65 (2,97)	33,89 (10,61)			
P pois	4,83 (1,65)	0,81 (0,12)	45,23 (13,18)			
Fève	28,67 (13,86)	1,13 (0,15)	71,74 (10,73)			
Orge				2,02 (1,12)	22,39 (6,95)	61,38 (15,66)

P : Poids (en g); D : Diamètre (en mm); L : Longueur (en cm)

Tableau 10. Composantes de rendement des cultures sous jacentes aux jeunes arganiers (année 2007-08)

Succession	P/gousse	D/graine	L/Tige	P/épi	Graine/épi	L/Tige
Lup/Ppois	6,56	0,81	72,75			
Fève/Ppois	5,13	0,75	72,22			
Jach/Ppois	4,27	0,77	84,48			
Orge/Fève	26,64	1,17	77,95			
Ppois/Fève	33,48	1,17	88,49			
Jach/Fève	32,66	1,13	88,17			
Ppois/Lupin	5,08	0,71	30,10			
Fève/Lupin	6,97	0,74	35,70			
Orge/Lupin	5,51	0,70	33,75			
Jach/Lupin	2,97	0,61	31,66			
Lup/Orge				1,53	20,84	83,45
Fève/Orge				1,44	20,16	85,29
Jach/Orge				1,46	19,11	78,90

P : Poids (en g); D : Diamètre (en mm); L : Longueur (en cm)

Tableau 11. Rendement, en grammes de gousses ou épis par placette de 1 m², des cultures associées aux jeunes arganiers (année 2006-07)

Blocs	Fève	Petit pois	Orge	Lupin
A	495,50	175,78	102,88	258,40
B	791,75	116,48	157,00	440,83
C	1034,75	241,55	139,00	352,83
D	1021,85	457,53	162,50	77,68
E	1019,25	264,50	244,10	202,13
Moy Totale	872,62	251,17	161,10	266,37
Ecartype	294,17	142,92	55,94	169,05

Tableau 12. Rendement, en grammes de gousses ou épis par placette de 1 m², des cultures associées aux jeunes arganiers (année 2007-08)

Blocs	Précédents	Petit pois	Précédents	Lupin	Précédents	Fève	Précédents	Orge
A	Fève	898,75	P pois	192,95	Orge	1266,25	Jachère	327,35
B	Jachère	757,50	Fève	254,33	P pois	1416,25	Lupin	378,30
C	Lupin	816,25	Orge	252,75	Jachère	1330,25	Fève	295,83
D	Fève	837,50	P pois	229,25	Orge	1387,50	Jachère	270,75
E	Fève	841,25	Jachère	90,00	Orge	1467,50	Lupin	302,50
Moyenne		830,25	Moyenne	203,86	Moyenne	1373,55	Moyenne	314,95
Ecartype		210,75	Ecartype	79,99	Ecartype	274,30	Ecartype	57,19

Tableau 13. Evolution du taux de croissance, en p.100 par mois, des rameaux d'arganiers adultes

Blocs	Succession de cultures sous jacentes	15/05/07 au 20/11/07	20/11/07 au 19/05/08	19/05/08 au 17/08/08	15/05/07 au 17/08/08
A	P pois / Jachère	28,7	4,1	2,4	17,60
E	P pois / Jachère	19,8	3,5	1,8	11,90
I	P pois / Jachère	47,2	4,3	2,0	27,40
	Moyenne	31,9	4,0	2,1	18,97
B	Jachère /Orge	45,6	5,1	2,4	28,60
F	Jachère /Orge	26,7	3,8	5,2	17,80
G	Jachère /Orge	34,1	3,1	3,2	19,70
	Moyenne	35,5	4,0	3,6	22,03
C	Orge/ Petit pois	26,0	2,7	2,3	14,60
D	Orge/ Petit pois	43,5	5,1	4,0	28,50
H	Orge/ Petit pois	25,3	4,0	2,5	15,80
	Moyenne	31,6	3,9	2,9	19,63

Tableau 14. Taux d'accroissement (en % par mois) des jeunes arbres d'arganier (Période du 02/04/2007 au 06/02/2009)

Types de successions culturales	Successions culturales	Accroissement des arganiers (% / mois)
Légumineuse / Légumineuse	Lupin/Petit pois	25,33
	Petit pois /Lupin	23,56
	Fève/Lupin	23,10
	Fève/ Petit pois	20,05
	Petit pois /Fève	14,51
	Moyenne	21,31
Légumineuse /Céréale ou Céréale / Légumineuse	Lupin /Orge	17,90
	Orge/Fève	17,90
	Orge/Lupin	3,22
	Fève/Orge	2,78
	Moyenne	10,45
Légumineuse /Jachère ou Jachère / Légumineuse	Jachère/Petit pois	16,91
	Petit pois / Jachère	13,78
	Lupin / Jachère	9,27
	Jachère /Fève	6,02
	Jachère /Lupin	2,78
	Moyenne	9,75
Céréale / Jachère ou Jachère / Céréale	Orge/ Jachère	19,13
	Jachère /Orge	9,90
	Moyenne	14,52

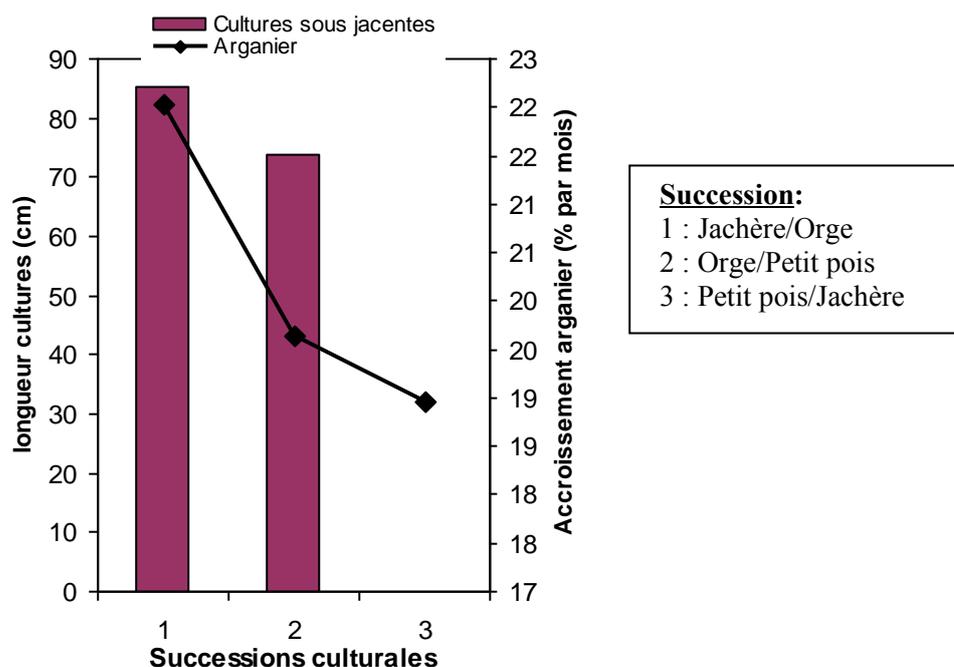


Figure 14. Croissance des arganiers adultes et des cultures sous jacentes: Effet de leur interaction

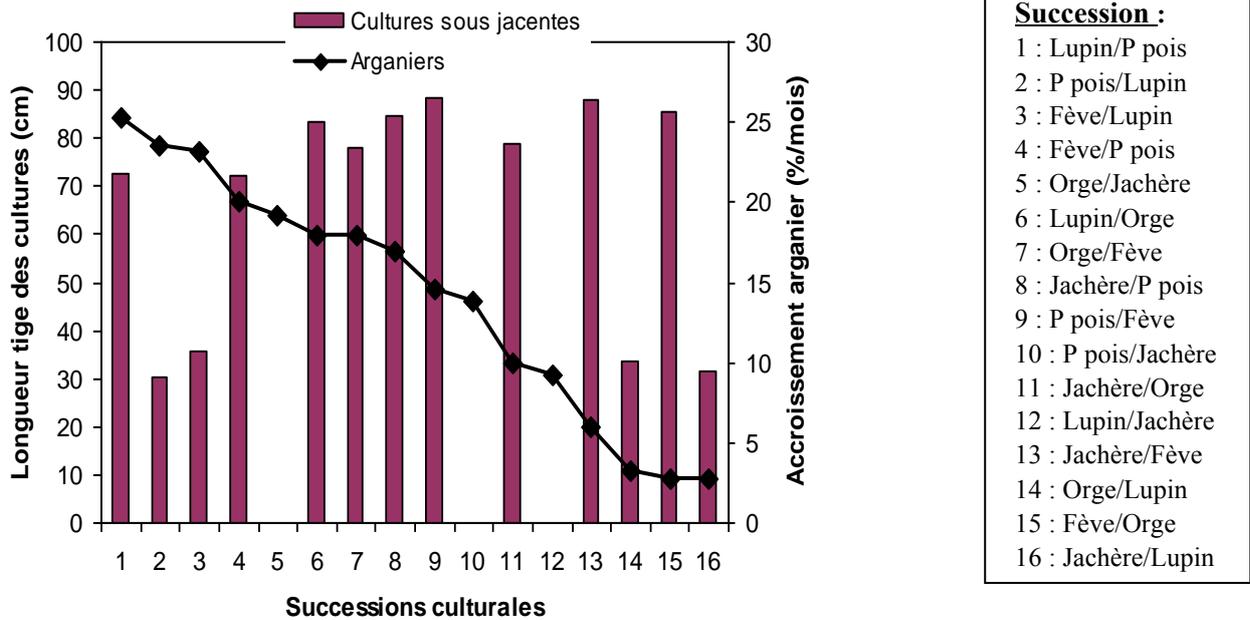


Figure 15. Croissance des jeunes arganiers et des cultures sous jacentes: Effet de leur interaction

II.2.1.2 - Estimation de la quantité d'azote fixé par les Légumineuses

a- Objectifs

Les légumineuses ont la capacité de fixer l'azote (N₂) de l'air grâce à leur association symbiotique avec rhizobium, bactéries du sol qui forment des nodosités racinaires. Cette étude a pour but de quantifier la proportion de N₂ fixé au champ par les différentes espèces au cours de deux cycles de culture successifs et d'analyser l'effet des précédents culturaux « légumineuses » vs « non-légumineuses » sur la proportion de N fixé au sein d'arganeraies de différents âges (1 et 10 ans). D'après la littérature, de nombreux travaux ont porté sur de telles estimations chez les espèces de légumineuses à graines testées ici (petit pois, fève et lupin) mais rarement dans un contexte agroforestier et jamais en culture intercalaire de sous-étage sous arganier, ceci renforçant l'originalité de ce travail.

b- Méthodologie :

La méthode utilisée pour estimer la proportion d'azote fixé par les Légumineuses à graines cultivées est celle de l'abondance isotopique naturelle en ¹⁵N :

- Principe et formule de l'estimation du pourcentage d'azote de l'air fixé par la méthode de l'abondance naturelle en ¹⁵N (d'après Amarger et al., 1977 et Shearer et Kohl, 1986) :

$$\text{Calcul de l'abondance naturelle : } \delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left[\frac{\%^{15}\text{N}_{\text{échantillon}} - 0,3663}{0,3663} \right] \times 1000$$

$$\text{Où : } \%^{15}\text{N}_{\text{échantillon}} = \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N} + ^{15}\text{N}} \quad \text{et : } 0,3663 \text{ correspond au } \%^{15}\text{N} \text{ de l'air}$$

$$\text{Calcul du pourcentage de N fixé : } \%N_{\text{dfa}} = \left[\frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}} - \delta^{15}\text{N}_f}{\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}} - \delta^{15}\text{N}_a} \right] \times 100$$

Où : $\delta^{15}N_f$: abondance naturelle chez la plante fixatrice de N ;
 $\delta^{15}N_{nf}$: abondance naturelle chez la plante de référence non-fixatrice de N ;
 $\delta^{15}N_a$: abondance naturelle chez la plante fixatrice d'azote fixant 100% de N.

Les $\delta^{15}N$ des sols de l'IAV Agadir et des espèces de référence non-fixatrices d'azote spontanées poussant sur les sols correspondants qui allaient recevoir les futurs essais agroforestiers du présent projet ont été mesurés avant leur mise en place et montraient des valeurs suffisamment élevées (moyenne de +5‰) pour pouvoir appliquer la méthode de l'abondance naturelle. Cette méthode est en effet aussi fiable que la méthode de dilution isotopique par marquage en ^{15}N (Peoples *et al.*, 1989) et donne des estimations de fixation de N équivalentes mais a plusieurs avantages : *i*) elle donne une estimation cumulée de la fixation de N_2 depuis la germination de la plante ; *ii*) elle ne nécessite pas l'adjonction d'engrais marqué ^{15}N , lequel est coûteux, perturbateur en affectant quelque peu la fixation de N et difficile à mettre en œuvre techniquement au champ bien que non polluant (isotope stable) ; *iii*) l'excès isotopique en ^{15}N naturel ($\delta^{15}N$) est plus stable que celui de l'engrais marqué ; *iv*) elle s'applique aux formations végétales existantes comme les forêts et sans prétraitement préalable ; *v*) le choix de l'espèce de référence non-fixatrice est moins problématique que dans le cas de la méthode de dilution isotopique.

La récolte des échantillons végétaux de la première (juin à août 2007) et de la seconde récolte (avril à juin 2008) ont été effectués dans chacun des deux essais (parcelles 1 et 2) et au sein de chaque traitement bloc x culture (voir localisation et modes de prélèvements dans la Figure 16) comme pour les échantillons de sol. Les parties aériennes de toutes les plantes localisées dans des placeaux utiles centraux de 1 m^2 ont été récoltées, séparées en différents compartiments (tiges, feuilles, gousses ou épis et grains) puis séchées à l'étuve et pesées pour évaluation de la productivité. Les échantillons représentatifs de chaque traitement ont été broyés avant d'être expédiés au LSTM à Montpellier. Les échantillons ont été rebroyés finement au LSTM de Montpellier avant leur envoi à l'INRA de Laon pour analyses de l'abondance isotopique naturelle en ^{15}N (mesure par spectrométrie de masse) et du pourcentage d'azote total.

c- Résultats :

Les abondances isotopiques naturelles en ^{15}N ($\delta^{15}N$) mesurées dans les feuilles des plantes de jachère, où aucune légumineuse sauvage n'était représentée, se sont révélées élevées avec un $\delta^{15}N$ très stable compris entre +6 et +7‰ en 2007 et 2008, et ce dans les deux parcelles d'étude, éloignées l'une de l'autre d'une dizaine de mètres seulement. En revanche, les valeurs de $\delta^{15}N$ mesurées dans les feuilles d'orge varient fortement selon l'année et la parcelle considérées puisqu'elles oscillent de +3 à +8‰ (Tableaux 15 et 16). Ces variations sont à l'image de celles observées au niveau de la teneur des feuilles en azote (Tableaux 15 et 16), avec des valeurs peu variables pour les plantes de jachères (17 à 18 g $N.kg^{-1}$ environ) et par contre très variables pour l'orge (11 à 19 g $N.kg^{-1}$ environ). Pour ces différentes raisons, nous utiliserons le $\delta^{15}N$ des plantes de jachère comme valeur de référence « témoin non-fixateur de N » pour le calcul d'estimation de la proportion de N fixé (Ndfa).

Les abondances isotopiques naturelles en ^{15}N mesurées dans les feuilles des différentes légumineuses varient fortement selon l'année et la parcelle considérées, mais aussi selon l'espèce testée (Tableaux 15 et 16). Ainsi, chez le petit pois, testé dans les deux parcelles 1 et 2, les valeurs de $\delta^{15}N$ sont toujours significativement ($P < 0.01$) et nettement inférieures à celles mesurées chez les plantes de jachère ou l'orge, quelle que soit l'année considérée. On note également chez le petit pois une diminution sensible du $\delta^{15}N$ de 2007 à 2008 qui atteint des valeurs très basses dans les deux parcelles en 2008 (+0,2 et +1,2‰ dans les parcelles 1 et 2 respectivement). Les teneurs en N des feuilles de petit pois, 2 à 4 fois plus élevées que celles de plantes de jachère ou d'orge, sont significativement plus élevées en 2008 par rapport à celles de 2007. La fève, testée uniquement dans la parcelle 2, se comporte comme le petit pois avec toutefois un $\delta^{15}N$ intermédiaire entre celui des plantes de jachère et celui du petit pois en première année de culture 2007 (Tableau 16). Par contre, nous n'observons pas de différence significative entre le

$\delta^{15}\text{N}$ du lupin et celui de la jachère en 2007 comme en 2008, de même que pour la teneur en N de leurs feuilles.

Comme indiqué dans le Tableau 17, les $\delta^{15}\text{N}$ des graines des différentes cultures testées sont très proches de celles mesurées dans les feuilles correspondantes (Tableaux 15 et 16), quelle que soit l'année ou la parcelle considérée. Ceci montre que la translocation de N des feuilles vers les graines au moment de leur maturation, qui se traduit par des teneurs en N significativement plus élevées dans les graines que dans les feuilles, n'a pas d'effet discriminant sur l'abondance isotopique naturelle en ^{15}N et confirme ainsi la validité de la méthode utilisant le $\delta^{15}\text{N}$ des feuilles pour les espèces étudiées.

Ainsi, les proportions d'azote fixé (Ndfa), estimées à partir des valeurs d'abondance en ^{15}N , varient selon l'espèce de légumineuse testée et l'année de culture (Tableau 18) : en 2007, le petit pois fixait environ 40% de N dans la parcelle 1 et 60 % dans la parcelle 2, et en 2008, 95 et 80% respectivement. De façon similaire, nous avons observé des taux de fixation de N élevés chez la fève avec une forte augmentation de 2007 à 2008, passant de 33 à 99% respectivement. Par contre, le lupin ne fixait pas de N, en 2007 comme en 2008, ceci pouvant expliquer les faibles rendements obtenus chez le lupin et les faibles teneurs des feuilles en N.

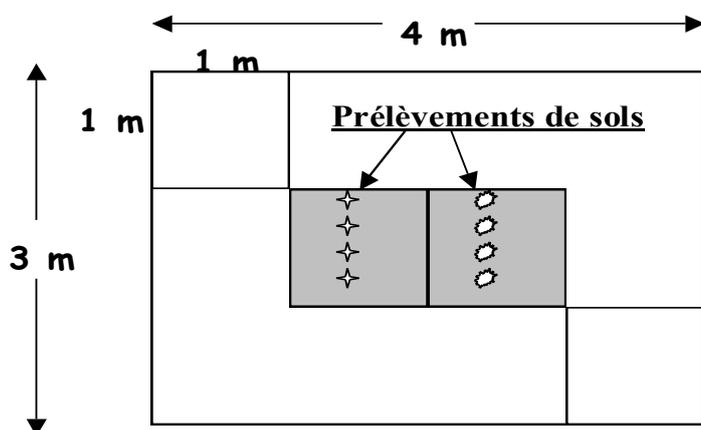
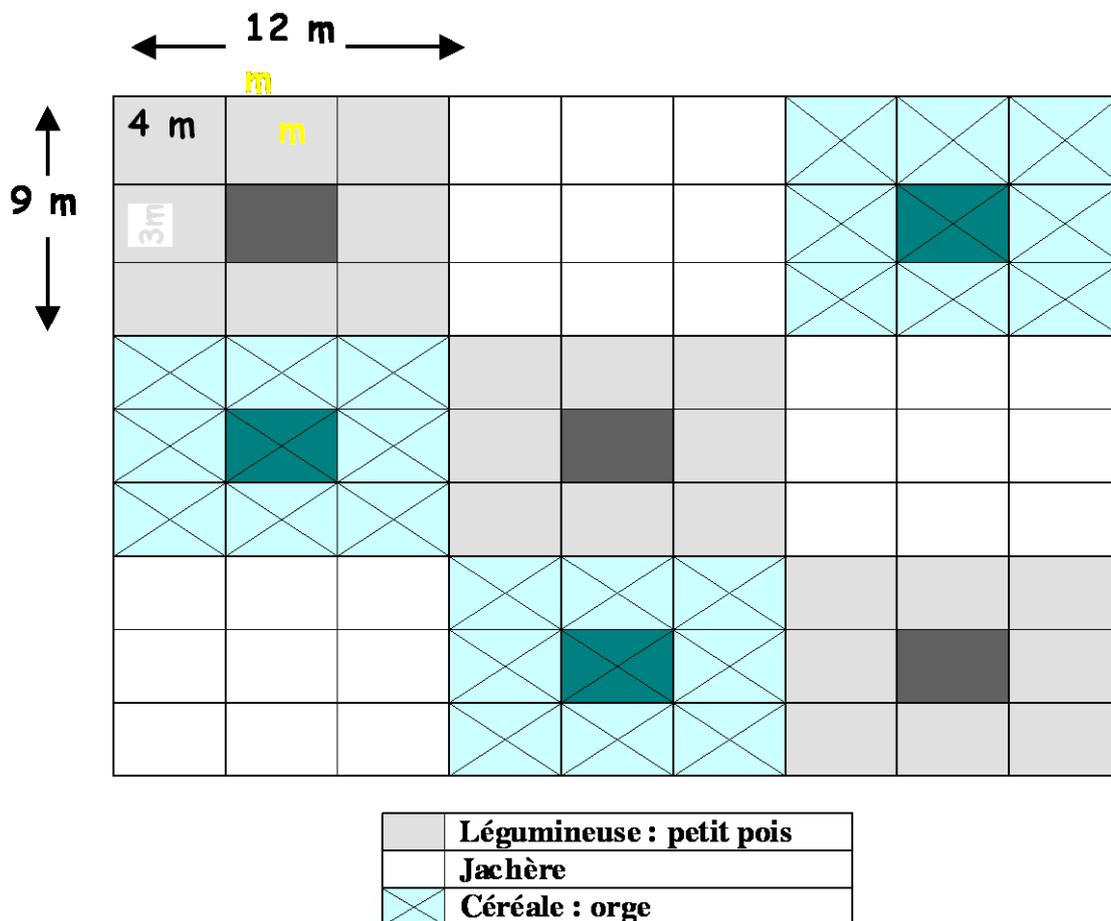
d- Conclusion

Bien que l'azote fixé augmente sensiblement chez le petit pois et la fève de 2007 à 2008, la nature du précédent cultural 2007 (orge, jachère ou légumineuse) n'a pas d'effet sur la proportion d'azote fixé par les différentes espèces de légumineuses en 2008. L'augmentation générale du Ndfa en 2008 pour le petit pois et la fève n'est pas non plus liée à une modification des propriétés chimiques du sol puisque la composition en éléments est stable de 2007 à 2008 (Cf ci-dessous § II.2.1.4). En revanche, elle est probablement liée au fort accroissement des rendements observé pour ces cultures en 2008 (Cf ci-dessus § II.2.1.1), lui-même dû à un cycle de culture plus long en 2008.

N'ayant pas relevé les données détaillées de biomasses par compartiment (tige, feuilles, gousses et épis, graines, racines) pour les différents traitements, nous ne pouvons pas calculer les quantités absolues de N fixé vs N assimilé par unité de surface et effectuer ainsi des bilans azotés complets des parcelles. Ceci pourrait être réalisé par extrapolation avec la mise en place d'un troisième cycle de culture qui permettrait de déterminer les différents ratios entre compartiments pour chaque espèce.

- Figure 16 : Plan du dispositif de la parcelle 1 de l'IAV d'Agadir avec localisation des prélèvements d'échantillons de sols et végétaux pour analyses

Schéma d'installation des cultures dans la plantation d'arganiers âgés de 10 ans



Parcelle utile correspondant à la maille centrale formée par 4 arbres

Tableau 15 : Abondance naturelle en ^{15}N et teneur en azote dans les feuilles de différentes cultures de la parcelle 1 de l'IAV (arganiers âgés de 10 ans) en fin de cycle cultural en 2007 et en 2008 :

Parcelle 1	$\delta^{15}\text{N}$				
Culture 2007	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyenne	Ecart-type
Orge	-	-	-	-	-
Jachère	6,7	6,0	8,3	7,0	a 1,2
P. pois	3,9	3,0	6,2	4,4	b 1,7

Parcelle 1	Teneur en N (g.kg^{-1})				
Culture 2007	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyenne	Ecart-type
Orge	-	-	-	-	-
Jachère	19,4	18,9	22,6	20,3	b 2,0
P. pois	38,0	33,6	33,1	34,9	a 2,7

Parcelle 1	$\delta^{15}\text{N}$				
Culture 2008	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyenne	Ecart-type
Orge	6,1	5,2	4,7	5,3	a 0,7
Jachère	6,8	5,9	6,5	6,4	a 0,5
P. pois	-0,1	0,0	0,8	0,2	b 0,5

Parcelle 1	Teneur en N (g.kg^{-1})				
Culture 2008	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyenne	Ecart-type
Orge	19,1	7,1	7,1	11,1	b 6,9
Jachère	19,1	12,9	18,1	16,7	b 3,3
P. pois	41,9	44,7	45,4	44,0	a 1,9

Tableau 16 : Abondance naturelle en ^{15}N et teneur en azote dans les feuilles de différentes cultures de la parcelle 2 de l'IAV (arganiers âgés de 1 an) en fin de cycle cultural en 2007 et en 2008 :

Parcelle 2	$\delta^{15}\text{N}$							
Culture 2007	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyenne	Ecart-type	
Orge	2,8	3,6	2,6	3,0	2,7	3,0	bc	0,39
Jachère	7,7	7,7	7,3	6,5	2,9	6,4	a	2,04
Lupin	7,3	7,0	7,2	5,2	7,3	6,8	a	0,89
Fève	5,4	5,2	5,1	2,1	3,4	4,3	b	1,45
P. pois	2,6	1,8	4,5	1,5	1,4	2,4	c	1,26

Parcelle 2	Teneur en N (g.kg^{-1})							
Culture 2007	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyenne	Ecart-type	
Orge	17,8	20,4	17,7	21,6	16,3	18,8	c	2,17
Jachère	19,8	15,9	17,2	15,8	22,3	18,2	c	2,79
Lupin	28,4	20,7	20,4	18,9	24,2	22,5	bc	3,81
Fève	20,4	24,1	28,5	20,8	27,7	24,3	b	3,74
P. pois	34,1	38,0	37,4	38,0	36,7	36,8	a	1,62

Parcelle 2	$\delta^{15}\text{N}$							
Culture 2008	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyenne	Ecart-type	
Orge	9,1	6,3	7,2	8,2	9,0	8,0	a	1,22
Jachère	5,9	6,0	6,7	5,5	6,0	6,0	b	0,46
Lupin	6,7	6,7	6,5	6,5	6,7	6,6	b	0,13
Fève	-0,3	0,5	0,1	0,1	-0,1	0,1	c	0,29
P. pois	0,3	3,0	2,2	0,5	0,2	1,2	c	1,29

Parcelle 2008	Teneur en N (g.kg^{-1})							
Culture 2008	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyenne	Ecart-type	
Orge	19,2	9,3	9,4	15,8	16,8	14,1	b	4,52
Jachère	16,8	13,7	23,0	20,6	14,7	17,8	b	3,92
Lupin	18,0	22,3	15,9	19,3	12,7	17,6	b	3,61
Fève	34,9	38,6	36,0	34,7	33,3	35,5	a	1,97
P. pois	38,3	34,3	41,0	44,0	40,8	39,7	a	3,63

Tableau 17 : Teneur en azote et abondance naturelle en ^{15}N dans les graines de différentes cultures dans les parcelles 1 et 2 de l'IAV en 2007 et/ou 2008 :

Parcelle 1	Moyennes Blocs A-B-C	
Culture	$\delta^{15}\text{N}$	Teneur en N (g.kg^{-1})
Petit pois 2007	2,9	57,2
Petit pois 2008	0,4	45,5
Orge 2008	5,9	18,2

Parcelle 2	Moyennes Blocs A-B-C-D-E	
Culture 2007	$\delta^{15}\text{N}$	Teneur en N (g.kg^{-1})
Orge	2,0	21,3
Petit pois	3,9	50,5
F _{ve}	3,7	38,0
Lupin	6,4	40,0

Tableau 18 : Estimation de la proportion d'azote fixé par les différentes cultures de Légumineuses à graines dans les parcelles 1 et 2 de l'IAV en 2007 et 2008 :

Parcelle 1	Ndfa 2007	Ndfa 2008
P. pois	37,8	96,2

Parcelle 2	Ndfa 2007	Ndfa 2008
Lupin	0,0	0,0
F _{ve}	33,8	98,8
P. pois	63,2	79,4

II.2.1.3. Transfert d'azote fixé des Légumineuses vers l'arganier

a- Objectifs

Dans la mesure où les cultures de Légumineuses fixent l'azote atmosphérique et limitent ainsi la quantité d'azote de sol assimilé par rapport à des cultures de non-légumineuses, on peut émettre l'hypothèse que les arganiers bénéficient d'une réserve d'azote du sol plus importante lorsqu'ils sont associés à des légumineuses plutôt qu'à des non-légumineuses, et que la croissance des arganiers est ainsi stimulée si le sol est carencé en azote. Un transfert d'azote est également possible des légumineuses vers des espèces non-fixatrices comme l'arganier. Ce transfert d'azote (fixé et non fixé) peut être : soit direct *via* les réseaux mycorhiziens ou la rhizodéposition ; soit indirect après recyclage de la matière organique sachant que les résidus de culture ont été ré-enfouis après deux cycles successifs de cultures dans nos essais. Or, il est possible de mettre en évidence un tel transfert d'azote dans notre modèle d'étude sachant qu'il se traduira par une diminution de l'abondance isotopique naturelle en ^{15}N dans les tissus des arganiers associés aux légumineuses par rapport à ceux d'arganiers associés à l'orge ou à une jachère (composées de diverses espèces non-fixatrices de N).

b- Méthodologie

Des prélèvements de feuilles d'arganiers intercalaires ont été effectués au niveau des placettes centrales de 1 m^2 des différents traitements unitaires bloc x culture des parcelles 1 et 2, et ce, juste après la première (août 2007) et la seconde récolte (juin 2008) en parallèle aux prélèvements effectués sur les cultures. Les feuilles de 4 arbres par traitement unitaire (voir Figure 16) ont été mélangées en un unique lot en proportions égales. Les échantillons foliaires ont été ensuite séchés à l'étuve à 50°C pendant 72h avant d'être expédiés au LSTM à Montpellier. Les échantillons ont été finement broyés au LSTM de Montpellier avant leur envoi à l'INRA de Laon pour analyse de l'abondance isotopique naturelle en ^{15}N (mesure par spectrométrie de masse) et du pourcentage d'azote total.

c- Résultats

Les analyses de variance effectuées sur les données d'abondance isotopique naturelle en ^{15}N et de teneur en N total des feuilles d'arganier (Tableaux 19 et 20) n'ont pas permis de déceler un quelconque effet des différentes cultures et alternances de culture (exemple : succession jachère-orge *vs* 2 cultures successives de légumineuses) sur ces variables, quels que soient l'âge des arganiers (1 an *vs* 10 ans) et l'année de récolte. Comme indiquées dans les Tableaux 19 et 20, les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ obtenues sont assez élevées et équivalentes dans les 2 parcelles en 2007 et n'évoluent pas de 2007 à 2008 ($\delta^{15}\text{N}$ moyens variant de $+5,5\text{‰}$ à $+5,9\text{‰}$). Ces valeurs sont voisines de celles obtenues sur les échantillons de jachère.

d- Conclusion

Malgré les proportions élevées d'azote fixé que nous avons estimées chez le pois et la fève au sein des deux parcelles d'essai en 2007 et en 2008, on n'observe aucune baisse de $\delta^{15}\text{N}$ dans les feuilles d'arganiers intercalaires qui aurait pu mettre en évidence un transfert d'azote fixé des légumineuses aux arganiers. Ceci peut-être dû : soit à la croissance lente de l'arganier, notamment les arganiers âgés de 1 an dont le système racinaire assimile encore à ce stade la majorité de ses éléments nutritifs dans le substrat de culture de pépinière ; soit, hypothèse la plus probable, à une durée d'expérimentation trop courte qui ne permet pas le recyclage de la matière organique ni la minéralisation de l'azote provenant des résidus de cultures de légumineuses enfouis.

Il serait souhaitable de poursuivre cette expérimentation sur un plus long terme afin d'observer un effet positif éventuel des légumineuses sur la croissance des arganiers intercalaires *via* un transfert de N fixé.

Tableau 19 : Teneur en azote et abondance naturelle en ^{15}N de feuilles d'arganiers des parcelles 1 (âgés de 10 ans) et 2 (âgés de 1 an) plantés au milieu de différentes cultures associées en 2007

Arganier 2007

Parcelle 1	Teneur en N (g.kg^{-1})			Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C			
Orge	22,7	23,4	24,6	23,6	a	1,0
Jachère	22,4	24,8	24,4	23,9	a	1,3
P. pois	25,1	24,2	23,6	24,3	a	0,7

Arganier 2007

Parcelle 1	$\delta^{15}\text{N}$			Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C			
Orge	5,6	4,9	6,0	5,5	ab	0,6
Jachère	5,2	5,1	5,8	5,4	b	0,4
P. pois	5,7	5,5	6,5	5,9	a	0,5

Arganier 2007

Parcelle 2	Teneur en N (g.kg^{-1})					Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E			
Orge	24,4	24,7	16,1	23,3	19,1	21,5	a	3,8
Jachère	17,0	23,5	26,7	24,2	17,1	21,7	a	4,4
Lupin	21,2	20,0	17,1	24,6	23,1	21,2	a	2,9
Fève	22,9	21,9	19,3	19,6	21,8	21,1	a	1,6
P. pois	22,3	26,4	20,2	21,4	20,2	22,1	a	2,6

Arganier 2007

Parcelle 2	$\delta^{15}\text{N}$					Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E			
Orge	5,9	6,3	6,1	5,6	5,4	5,8	a	0,4
Jachère	5,1	5,4	5,8	5,2	3,4	5,0	a	0,9
Lupin	4,8	5,2	6,9	4,9	6,5	5,7	a	0,9
Fève	6,0	5,5	4,4	5,5	5,3	5,3	a	0,6
P. pois	6,0	6,9	7,0	7,0	5,3	6,1	a	0,8

Tableau 20 : Teneur en azote et abondance naturelle en ^{15}N de feuilles d'arganiers des parcelles 1 (âgés de 10 ans) et 2 (âgés de 1 an) plantés au milieu de différentes cultures associées en 2008

Arganier 2008

Parcelle 1	Teneur en N (g.kg ⁻¹)			Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C			
Orge	19,9	18,9	18,9	19,2	a	0,6
Jachère	22,9	20,5	21,6	21,7	a	1,2
P. pois	22,4	22,4	20,1	21,7	a	1,3

Arganier 2008

Parcelle 1	$\delta^{15}\text{N}$			Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C			
Orge	5,4	5,8	5,8	5,7	a	0,2
Jachère	6,1	5,7	6,9	6,3	a	0,6
P. pois	6,3	5,1	5,6	5,7	a	0,6

Arganier 2008

Parcelle 2	Teneur en N (g.kg ⁻¹)					Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E			
Orge	23,4	22,7	22,0	21,4	22,3	22,3	ab	0,7
Jachère	26,0	28,3	23,6	22,5	24,3	25,0	a	2,3
Lupin	19,3	18,6	23,7	22,3	18,4	20,5	b	2,4
Fève	23,8	19,7	26,0	18,6	18,9	21,4	ab	3,3
P. pois	22,2	22,5	21,3	23,0	18,2	21,4	ab	1,9

Arganier 2008

Parcelle 2	$\delta^{15}\text{N}$					Moyenne		Ecart-type
Culture associée	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E			
Orge	5,3	6,0	4,9	6,5	4,8	5,5	a	0,7
Jachère	4,2	3,9	5,3	3,1	5,4	4,4	b	1,0
Lupin	6,8	6,6	6,0	6,0	5,4	6,2	a	0,5
Fève	5,8	5,6	7,0	5,2	4,9	5,7	a	0,8
P. pois	5,8	5,4	6,0	5,9	5,1	5,7	a	0,4

II.2.1.4 - Evolution de la fertilité des sols

a- Objectifs

Dans un objectif de gestion agroforestière durable de l'arganeraie, la mise en oeuvre de pratiques culturales économes en intrants (engrais azotés en particulier) nécessite l'intégration de Légumineuses à valeur ajoutée dans les cycles de culture traditionnels à base d'orge. Ainsi, il est important d'étudier l'évolution de la fertilité des sols au cours des cycles culturaux en fonction de différentes alternances de culture (jachère/orge/légumineuses) si l'on veut optimiser le bilan global en nutriments des parcelles cultivées.

b- Méthodologie

Afin de suivre l'évolution de leur fertilité, des prélèvements de sols ont été effectués dans chacun des deux essais (parcelles 1 et 2) et au sein de chaque traitement (voir Figure 16 pour la localisation et les modes de prélèvements), juste après les récoltes de la 1^{ère} culture (juin à août 2007) et de la 2^{de} culture (avril à juin 2008). Les différentes variables mesurées étaient le pH, la quantité de matière organique (MO), le carbone organique, l'azote total, le rapport C/N, et le phosphore assimilable (P Olsen).

c- Résultats

Les résultats des analyses de sols de 2007 sont rapportés dans les tableaux 21 (parcelle 1) et 22 (parcelle 2), celles de 2008 dans le Tableau 23.

En 2007, pour la parcelle 1 (arganiers intercalaires âgés de 10 ans), aucune différence significative n'est observée entre les pH des différents placeaux (3 cultures x 3 blocs). Tous blocs confondus, les différentes variables du sol (MO, C, N, C/N et P) mesurées sous culture de petit pois ont des valeurs supérieures (+27%, +27%, +20%, +5% et +17% respectivement) à celles mesurées sous culture d'orge et sous jachère bien que ces différences ne soient pas significatives statistiquement (d'après l'analyse de variance à 2 facteurs au seuil $p=0,05$). Les teneurs en ces différents éléments sont équivalentes sous culture d'orge et sous jachère. Toutes cultures confondues, les teneurs en MO, C et N sont plus élevées dans le bloc C que dans les deux autres blocs, ces derniers ayant des teneurs équivalentes.

Pour la parcelle 2 (arganiers intercalaires âgés de 1 an) en 2007 et tous blocs confondus (5 cultures x 5 blocs), les teneurs en MO, C, N, C/N et P sont plus élevées sous culture de lupin que sous les autres cultures (petit pois, fève et orge) et sous jachère, bien que ces différences ne soient pas statistiquement significatives. Il n'y a pas non plus de différences significatives entre les teneurs en éléments des cinq blocs.

Tableau 21 : Résultats des analyses de sol au sein de la parcelle 1 (IAV d'Agadir) sous les différentes cultures associées aux arganiers âgés de 10 ans (prélèvement du sol en 2007)

Parcelle 1	pH			
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyennes
Orge	8,28	8,30	8,29	8,29
Jachère	8,19	8,25	8,43	8,29
P. pois	8,24	8,21	8,37	8,27
Moyennes :	8,24	8,25	8,36	8,28

Parcelle 1	Matière organique (%)			
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyennes
Orge	1,56	1,51	1,93	1,67
Jachère	1,55	2,00	1,55	1,70
P. pois	2,09	1,52	2,82	2,14
Moyennes :	1,73	1,68	2,10	1,84

Parcelle 1	Carbone organique (%)			
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyennes
Orge	0,90	0,88	1,12	0,97
Jachère	0,90	1,16	0,90	0,99
P. pois	1,21	0,88	1,63	1,24
Moyennes :	1,00	0,97	1,22	1,06

Parcelle 1	Azote total (%)			
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyennes
Orge	0,94	0,88	1,03	0,95
Jachère	0,87	1,11	0,89	0,96
P. pois	1,21	0,86	1,34	1,14
Moyennes :	1,01	0,95	1,09	1,01

Parcelle 1	C/N			
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyennes
Orge	9,61	9,92	10,90	10,14
Jachère	10,34	10,49	10,14	10,32
P. pois	9,97	10,21	12,20	10,79
Moyennes :	9,97	10,21	11,08	10,42

Parcelle 1	P Olsen (mg/Kg)			
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Moyennes
Orge	23,04	17,72	27,06	22,61
Jachère	17,50	22,58	20,30	20,13
P. pois	30,06	21,56	23,06	24,89
Moyennes :	23,53	20,62	23,47	22,54

Tableau 22 : Résultats des analyses de sol au sein de la parcelle 2 (IAV d'Agadir) sous les différentes cultures associées aux arganiers âgés de 1 an (prélèvement du sol en 2007)

Parcelle 2	pH					
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyennes
Orge	8,27	8,39	8,36	8,38	8,38	8,36
Jachère	8,39	8,44	8,40	8,39	8,53	8,43
Lupin	8,29	8,37	8,31	8,28	8,31	8,31
Fève	8,31	8,31	8,30	8,30	8,41	8,33
P. pois	8,37	8,36	8,33	8,39	8,42	8,37
Moyennes :	8,33	8,37	8,34	8,35	8,41	8,36

Parcelle 2	Matière organique (%)					
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyennes
Orge	2,80	2,45	2,53	2,80	2,21	2,56
Jachère	2,26	2,55	2,32	2,52	2,92	2,51
Lupin	2,63	2,41	2,64	3,43	2,49	2,72
Fève	2,35	2,57	2,62	2,25	2,73	2,50
P. pois	2,33	2,52	2,74	2,71	2,63	2,59
Moyennes :	2,47	2,50	2,57	2,74	2,60	2,58

Parcelle 2	Carbone organique (%)					
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyennes
Orge	1,62	1,42	1,47	1,62	1,28	1,48
Jachère	1,31	1,48	1,34	1,46	1,69	1,46
Lupin	1,52	1,40	1,53	1,99	1,45	1,58
Fève	1,37	1,49	1,52	1,30	1,59	1,45
P. pois	1,35	1,46	1,59	1,57	1,53	1,50
Moyennes :	1,43	1,45	1,49	1,59	1,51	1,49

Parcelle 2	Azote total (%)					
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyennes
Orge	1,42	1,27	1,31	1,43	1,22	1,33
Jachère	1,20	1,33	1,21	1,32	1,50	1,31
Lupin	1,41	1,24	1,34	1,54	1,30	1,37
Fève	1,20	1,41	1,45	1,20	1,40	1,33
P. pois	1,22	1,31	1,39	1,40	1,40	1,34
Moyennes :	1,29	1,31	1,34	1,38	1,36	1,34

Parcelle 2	C/N					
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyennes
Orge	11,45	11,16	11,15	11,33	10,46	11,11
Jachère	10,90	11,09	11,09	11,09	11,24	11,08
Lupin	10,78	11,29	11,41	12,92	11,10	11,50
Fève	11,35	10,62	10,44	10,85	11,30	10,91
P. pois	11,07	11,19	11,41	11,27	10,87	11,16
Moyennes :	11,11	11,07	11,10	11,49	10,99	11,15

Parcelle 2	P Olsen (mg/Kg)					
Culture	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	Moyennes
Orge	25,10	22,98	16,02	16,82	12,34	18,65
Jachère	21,20	25,24	22,36	16,58	92,94	35,66
Lupin	24,28	23,32	23,74	18,88	22,00	22,44
Fève	22,84	26,28	19,86	21,40	20,00	22,08
P. pois	19,68	19,88	26,48	18,22	13,08	19,47
Moyennes :	22,62	23,54	21,69	18,38	32,07	23,66

Tableau 23 : Résultats des analyses de sol au sein de la parcelle 2 (IAV d'Agadir) sous les différentes cultures associées aux arganiers âgés de 1 an (prélèvement du sol en 2008 après seconde culture) en fonction des différentes cultures 2008 et 2007

Précédent 2007	Culture 2008	Bloc	M.O	δ M.O	N‰	δ N‰	C/N	δ C/N	P	δ P
Orge	Fève	A	2,77	-0,03	1,54	0,12	10,42	-1,03	23,48	-1,62
Jachère	Orge	A	2,24	-0,02	1,31	0,11	9,92	-0,98	20,62	-0,58
Fève	P.Pois	A	2,52	0,17	1,37	0,17	10,64	-0,71	21,06	-1,78
P.Pois	Lupin	A	2,34	0,01	1,36	0,14	9,98	-1,09	19,96	0,28
Lupin	Jachère	A	2,76	0,13	1,54	0,13	10,41	-0,37	24,76	0,48
P.Pois	Fève	B	2,19	-0,33	1,35	0,04	9,39	-1,80	19,04	-0,84
Lupin	Orge	B	2,51	0,10	1,40	0,16	10,42	-0,87	22,24	-1,08
Jachère	P.Pois	B	2,33	-0,22	1,42	0,09	9,53	-1,56	20,06	-5,18
Fève	Lupin	B	2,51	-0,06	1,37	-0,04	10,64	0,02	20,44	-5,84
Orge	Jachère	B	2,46	0,01	1,45	0,18	9,86	-1,30	25,24	2,26
Jachère	Fève	C	2,39	0,07	1,38	0,17	10,07	-1,02	23,90	1,54
Fève	Orge	C	2,67	0,05	1,47	0,02	10,52	0,08	18,86	-1,00
Lupin	P.Pois	C	2,61	-0,03	1,30	-0,04	11,65	0,24	24,76	1,02
Orge	Lupin	C	2,30	-0,23	1,29	-0,02	10,32	-0,83	16,96	0,94
P.Pois	Jachère	C	2,55	-0,19	1,37	-0,02	10,82	-0,59	26,10	-0,38
Orge	Fève	D	2,57	-0,23	1,39	-0,04	10,73	-0,60	22,20	5,38
Jachère	Orge	D	2,33	-0,19	1,23	-0,09	11,01	-0,08	17,36	0,78
Fève	P.Pois	D	2,19	-0,06	1,20	0,00	10,65	-0,20	23,26	1,86
P.Pois	Lupin	D	2,34	-0,37	1,30	-0,10	10,45	-0,82	18,96	0,74
Lupin	Jachère	D	2,70	-0,73	1,46	-0,08	10,72	-2,20	18,96	0,08
Orge	Fève	E	2,27	0,06	1,16	-0,06	11,40	0,94	16,34	4,00
Lupin	Orge	E	2,55	0,06	1,26	-0,04	11,71	0,61	29,30	7,30
Fève	P.Pois	E	2,57	-0,16	1,26	-0,14	11,81	0,51	17,92	-2,08
Jachère	Lupin	E	2,46	-0,46	1,15	-0,35	12,39	1,15	35,10	-
P.Pois	Jachère	E	2,08	-0,55	1,26	-0,14	9,53	-1,34	19,40	6,32
Moyenne parcelle			2,45	-0,13	1,34	0,01	10,60	-0,55	21,85	0,53
Evolution 2008-2007				-5,23%		0,05%		-5,22%		2,46%

Tableau 24 : Effet du précédent cultural (culture 2007) sur le taux de matière organique du sol de la parcelle 2 mesuré en 2008 :

Parcelle 2	Matière organique (%)					Moyennes
	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc E	
Précédent 2007						
Lupin	2,76	2,51	2,61	2,70	2,55	2,63 a
Fève	2,52	2,51	2,67	2,19	2,57	2,49 ab
Orge	2,77	2,46	2,30	2,57	2,27	2,47 ab
Jachère	2,24	2,33	2,39	2,33	2,46	2,35 ab
P. pois	2,34	2,19	2,55	2,34	2,08	2,30 b
Moyennes :	2,53	2,40	2,50	2,43	2,39	2,45

En 2008, pour la parcelle 2, nous n'observons aucun effet de la culture utilisée sur les différentes variables mesurées (Tableau 24). Le seul effet observé est celui du précédent cultural de 2007 sur le taux de matière organique ($p < 0,05$). Pour les autres variables, seuls des effets du bloc ont été mis en évidence. Il n'y a pas d'évolution significative des teneurs du sol en N total ($\Delta N\%$) entre 2007 et 2008 tandis que les taux de matière organique ($\Delta M.O$) et les ratios C/N ($\Delta C/N$) baissent de 5% pendant la même période (Tableau 23). Aucun effet significatif de la succession de culture n'est observé au niveau des différents composants du sol, notamment entre 2 cultures successives de légumineuses et 2 de non-légumineuses (orge/jachère) mais aussi entre successions légumineuses/non-légumineuses.

d- Conclusion

Après deux cycles de culture, et quelles que soient les alternances de culture testées, le bilan azoté des deux parcelles étudiées est nul. Par contre, le bilan global est négatif (-5%) pour le taux de matière organique dans la parcelle 2 avec un effet du précédent cultural 2007 seulement. Il apparaît donc important de suivre l'évolution de la fertilité de ces sols sur un plus long terme pour observer l'effet de l'introduction de Légumineuses dans le bilan minéral des sols.

II.2.2 - Etude du comportement de légumineuses arbustives fourragères et de cultures à valeur ajoutée

Ce volet a été mené sur le terrain au Maroc au cours de 3 missions conjointes IAV (A. Abouzid) - CIRAD (A. Galiana, Y. Prin, O. Domergue) – Eaux et Forêts d'Agadir (Achour) – en 2007 et 2008 et au LSTM (Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR CIRAD/IRD/INRA/SupAgro/UMII) à Montpellier, sous la direction d'A. Galiana.

a- Objectifs

En plus des cultures traditionnelles comme l'orge et le maïs, il existe dans le sud-ouest marocain d'autres cultures arbustives à haute valeur ajoutée, bien adaptées aux climats de la région et pratiquées depuis des années par certains agriculteurs, mais également des plantes fourragères fixatrices d'azote naturelles, telles que la luzerne (*Medicago* spp.), *Retama monosperma*, *Acacia gummifera*, *Chamaecytisus mollis* et *Ononis natrix*, qui peuvent être exploitées pour la production de fourrage tout en allégeant la pression ovine sur l'arganier. Cette étude a ainsi pour but d'identifier des espèces fourragères associées naturellement à l'arganier ayant un potentiel fixateur d'azote élevé dans le but d'une réintroduction au sein de systèmes agroforestiers améliorés ou en tant qu'espèces accompagnatrices ou facilitatrices dans le cadre de programmes de plantations d'arganier.

b- Mode d'échantillonnage et analyses

Trois campagnes de prospection au sein d'arganeraies anciennes à anthropisation plus ou moins marquée ont été réalisées sur plus d'une dizaine de sites représentatifs et variés de l'arganeraie marocaine (Planches 1 et 2). Ces campagnes effectuées au cours de trois missions successives en mars 2007, mars et novembre 2008 ont permis la récolte systématique de matériel végétal (feuilles ; rameaux jeunes et anciens ; racines) sur les arganiers et leur cortège floristique immédiat ainsi que de sol (voir rapports de mission d'A. Galiana et d'Y. Prin). La présence de Légumineuses était systématique dans tous les sites visités et n'étaient absentes que des arganeraies dépourvues de toute végétation adventice localisées dans les zones les plus sèches au Sud d'Agadir et à basse altitude. Les espèces du cortège floristique de l'arganier que l'on a récoltées étaient représentées par des Légumineuses et plus d'une vingtaine d'espèces d'autres familles botaniques utilisées comme espèces témoins non-fixatrices d'azote permettant d'estimer la proportion d'azote atmosphérique fixé *in situ* chez les Légumineuses.

L'échantillonnage portait en moyenne sur 3 endroits de prélèvement par site, chaque endroit comportant un arganier central entouré de son cortège d'espèces accompagnatrices réparties sur un rayon de 3 m maximum à partir de la limite extérieure du houppier. Dans chaque site, les distances entre arganiers centraux échantillonnés variaient de 25 à 50 m. Chez l'arganier, les feuilles et rameaux étaient prélevés autour du houppier sur un minimum de 4 points d'échantillonnage répartis uniformément sur la circonférence et à raison de 2 ou 3 hauteurs différentes par point (de la base du tronc jusqu'à 2,50 m de hauteur). Chez les espèces accompagnatrices de l'arganier, et pour chacune d'entre elles, les feuilles (ainsi que les rameaux chez certaines espèces) étaient prélevées sur tous les individus présents dans le voisinage des arganiers centraux puis rassemblées en un lot unique. Après récolte, les échantillons ont été placés à l'étuve au laboratoire de l'IAV d'Agadir pour séchage pendant 72 h à 50°C. Les échantillons ainsi séchés ont été ramenés au LSTM de Montpellier, finement broyés puis envoyés à l'INRA de Laon pour analyses de l'abondance isotopique naturelle en ^{15}N et du pourcentage d'azote total.

c- Résultats

Chacun des 10 sites prospectés en mars 2007 était caractérisé par une association végétale distincte, les différentes espèces récoltées (lesquelles étaient les plus abondantes) étant représentées dans 1 à 3 sites sauf *Whitania frutescens* qui était la plus répandue avec une présence dans 5 sites (voir Planche 1, Figures 17 et 18). Dans chacun des 10 sites, les feuilles des Légumineuses présentent presque systématiquement des abondances isotopiques naturelles en ^{15}N proches de 0 (Figure 17). En effet, à l'exception d'*Acacia gummifera*, tous les individus des différentes espèces de Légumineuses ont un $\delta^{15}\text{N}$ variant de $-1,5$ à $+2,0\text{‰}$, quels que soient le site et l'endroit dans chaque site. En revanche, le $\delta^{15}\text{N}$ d'*Acacia gummifera* varie de $-1,0$ à $+4,0\text{‰}$ selon sa localisation. A l'inverse, toutes les espèces de non-Légumineuses ont en général un $\delta^{15}\text{N}$ nettement supérieur à celui des Légumineuses, variant de 0 à $+7\text{‰}$ selon les endroits. Le $\delta^{15}\text{N}$ moyen des différentes espèces collectées sur l'ensemble des sites montrent encore plus nettement cette différence entre le $\delta^{15}\text{N}$ des Légumineuses et celui des non-Légumineuses (voir Figure 19). Ceci montre que les espèces de non-Légumineuses assimilent l'azote du sol dont la signature isotopique est élevée et que les Légumineuses fixent une proportion d'azote atmosphérique importante, dont le $\delta^{15}\text{N}$ est nul par définition, simultanément à une assimilation d'azote du sol. Parmi les non-Légumineuses, seuls l'oléastre (*Olea europaea* ou olivier sauvage) et *Tetraclinis articulata* ont des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ basses et proches de 0 qui s'intercalent entre celles des Légumineuses mais ceci est probablement dû à un $\delta^{15}\text{N}$ du sol particulièrement bas à Ikherdiden où ces deux espèces sont présentes.

Pour estimer la proportion d'azote d'origine atmosphérique fixé par les Légumineuses par la méthode de l'abondance isotopique naturelle en ^{15}N , nous avons appliqué la formule indiquée en plus haut (§ II.2.1.2) en utilisant pour chaque site le $\delta^{15}\text{N}$ moyen de toutes les espèces non-fixatrices comme référence. Il est intéressant de noter ici que le $\delta^{15}\text{N}$ de l'arganier est proche de ce $\delta^{15}\text{N}$ moyen dans chaque site et que l'arganier peut ainsi être considéré comme l'espèce de référence non-fixatrice optimale pour estimer l'azote fixé selon cette méthode dans ces écosystèmes. Ne connaissant pas la valeur $\delta^{15}\text{N}_a$ de chaque espèce de Légumineuse étudiée ($\delta^{15}\text{N}$ chez des individus fixant 100% de N), nous l'avons considérée comme nulle pour appliquer la formule d'estimation du pourcentage de N fixé. L'estimation de l'azote fixé montre que la majorité des espèces de Légumineuses analysées dans les différents sites ont un haut potentiel fixateur d'azote. Tous sites confondus, cette proportion de N fixé est très élevée en variant de 80 à 98% chez 5 espèces parmi les 6 analysées : *Genista* sp., *Retama monosperma*, *Chamaecytisus mollis*, *Hesperolaburnum platycarpum* et *Ononis natrix* (Figure 20). Seul *Acacia gummifera* présente un taux de fixation moyen qui atteint seulement 48%. Cependant, l'aptitude de cette dernière espèce à fixer N varie fortement d'un site à l'autre, de 12 à 82% sur les 4 sites où elle était présente. Les espèces de Légumineuses ont une aptitude à fixer N élevée dans tous les sites sauf à Bouzemour où les 4 espèces observées ont un taux de fixation moyen d'environ 50% contre une moyenne globale de 85% pour les 9 autres sites. Ceci pourrait être dû au fait que Bouzemour est situé au

sein d'une zone pastorale dont la relative richesse du sol en N due aux déjections animales aurait un effet inhibiteur sur l'activité fixatrice de N (les nitrates étant connus pour inactiver la nitrogénase, enzyme localisée au niveau des nodosités racinaires qui réduit l'azote moléculaire N₂ en ions ammonium).

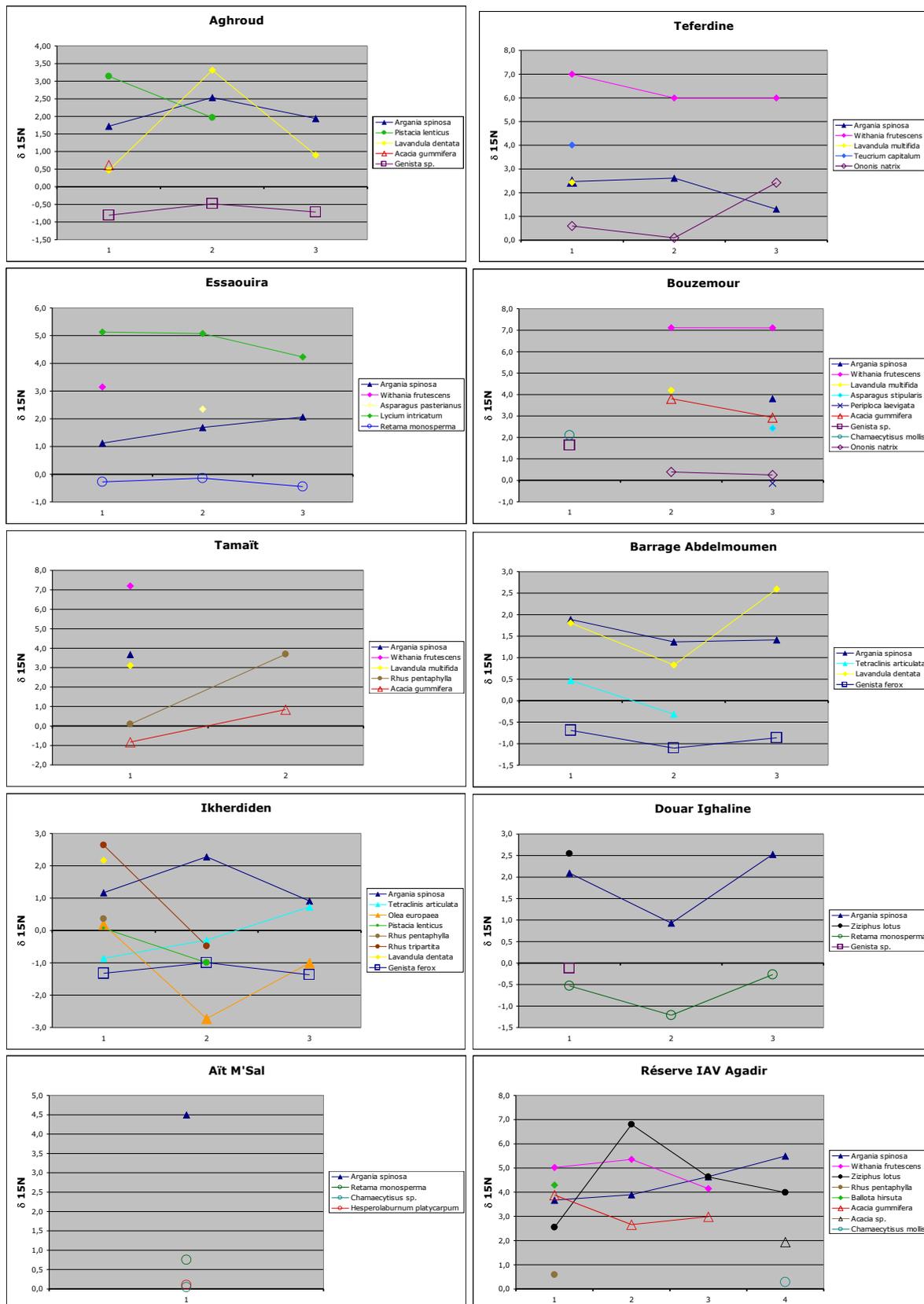
Une seconde campagne de récolte a été effectuée lors de la seconde mission de A. Galiana et Y. Prin en mars 2008 pour vérifier si les valeurs d'abondance naturelle et les estimations de fixation de N étaient stables par rapport à celles obtenues l'année précédente. Elle portait cette fois-ci sur seulement 4 des 10 sites visités en mars 2007 : Aghroud, Tamaït, Teferdine et réserve IAV Agadir. Encore une fois, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des espèces de Légumineuses étaient proches de 0 et oscillaient entre -0,5 et +1,5‰, quel que soit le site, sauf pour *Acacia gummifera* (Figure 21). Chez cette dernière espèce, ces valeurs variaient de +2,5 à +5,5‰ à Tamaït et Agadir, montrant ainsi des aptitudes à fixer N faible (Ndfa=17%) et nulle dans ces deux sites respectivement. En revanche, *Acacia gummifera* fixait 88% de N à Aghroud. Comme l'année précédente, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des espèces de non-Légumineuses étaient encore sensiblement supérieures à celles des Légumineuses, variant de +1,0 à +7,0‰ sur l'ensemble des sites en mars 2008. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ obtenues chez l'arganier, considéré comme une espèce non-fixatrice de référence optimale, dans chacun des sites en mars 2007 et mars 2008 sont très proches entre elles ($\pm 7\%$) sauf à Aghroud où elle augmente respectivement de +2,1 à +3,8‰. Sachant que les individus échantillonnés sont tous différents d'une année à l'autre bien que localisés sur une surface d'étendue identique d'environ 1 ha dans chaque site, ces résultats valident le mode d'échantillonnage et montrent que les sols sont assez homogènes dans la plupart des sites étudiés, dans le temps comme dans l'espace. Ainsi, les estimations de N fixé par les Légumineuses en mars 2008 montrent des aptitudes à fixer N similaires à celles de mars 2007 sur un même site, à l'exception d'*Acacia gummifera* (voir ci-dessus) : les espèces de *Genista* spp. présentes à Aghroud fixent en moyenne 95 et 94% de N en 2007 et 2008 respectivement ; *Ononis natrix* 70 et 68% à Teferdine et *Chamaecytisus mollis* 93 et 90% à la réserve de l'IAV Agadir (*Genista ferox* 71% en 2008 mais non récolté en 2007).

Les teneurs des feuilles en N total ne montrent pas de différences marquées entre espèces de Légumineuses et de non-Légumineuses, puisque, sur l'ensemble des sites prospectés en mars 2007, elles varient de 13 à 34 g/kg chez les premières et de 8 à 40 g/kg chez les secondes (Figure 19). Des valeurs similaires sont observées en mars 2008 (Figure 22). Les variations observées chez les différentes espèces sont notamment dues à la teneur des feuilles en lignines qui, lorsqu'elle est élevée, diminue la teneur en N total des feuilles comme chez *Genista* spp. et *Retama monosperma* pour les Légumineuses. Ainsi, les autres espèces de Légumineuses qui ont des feuilles moins scléreuses comme *Acacia gummifera*, *Chamaecytisus* spp., *Hesperolaburnum platycarpum* et *Ononis natrix* ont des teneurs en N assez élevées et supérieures à celles de nombreuses espèces de non-Légumineuses. Ce critère peut être important pour le choix d'espèces fixatrices d'azote produisant une litière riche en N et à décomposition plus rapide pour l'amélioration de la fertilité des sols des systèmes sylvo-agro-pastoraux *via* leur introduction.

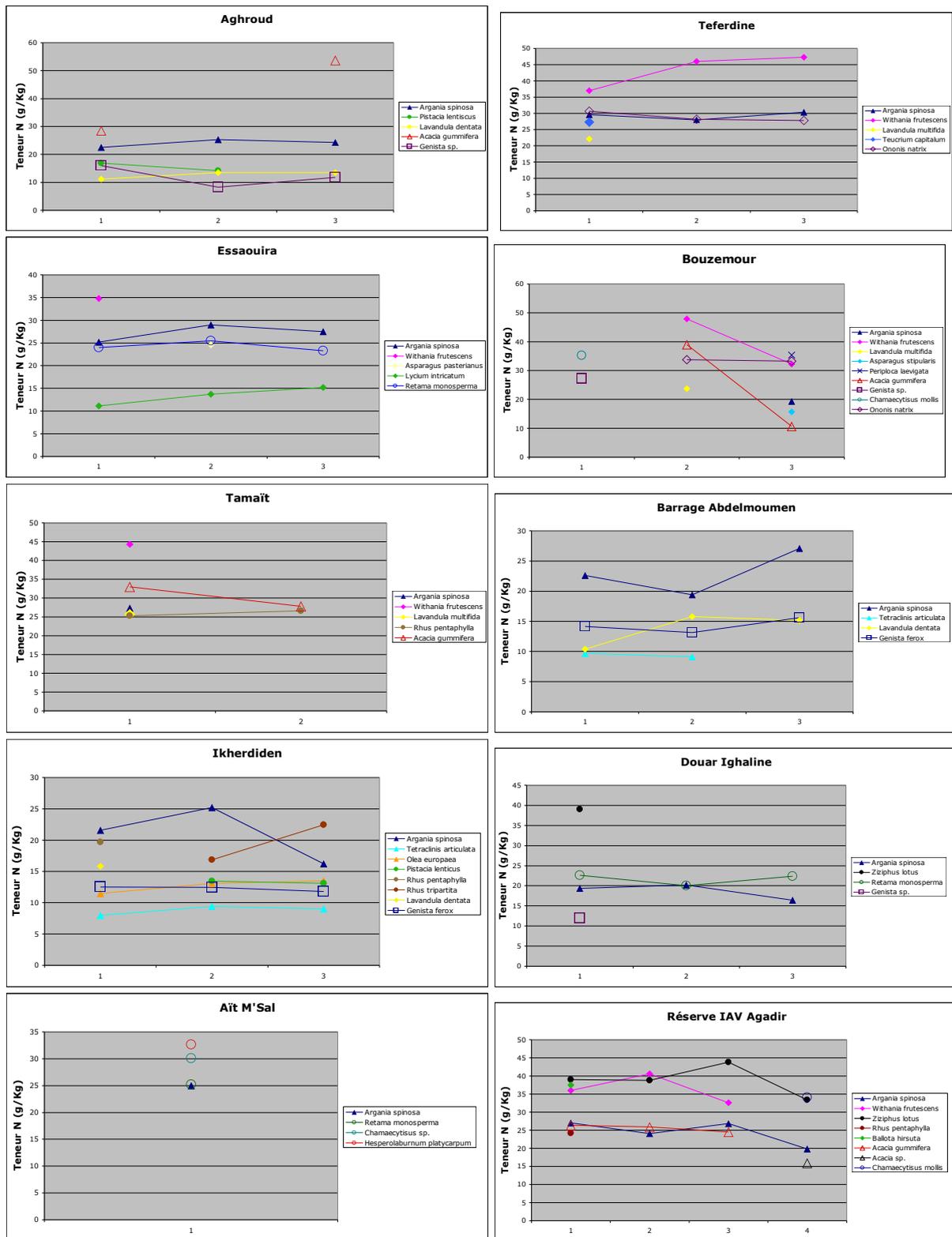
d .Conclusions et perspectives

Cette étude nous a permis d'identifier, parmi de nombreuses espèces inventoriées, plusieurs légumineuses arborées, arbustives ou herbacées à haut potentiel fixateur d'azote ayant un intérêt fourrager et/ou écologique : *Acacia gummifera*, *Ononis natrix*, *Chamaecytisus albidus*, *Genista* spp., *Hesperolaburnum platycarpum* et *Retama monosperma*. Bien qu'il n'ait pas été prouvé que le caroubier (*Ceratonia siliqua*) fixait l'azote (ni dans la présente étude), cette légumineuse connue comme non nodulante est également une espèce candidate à haute valeur ajoutée bien adaptée à une introduction en arganeraie de plaine. Il reste à évaluer le comportement de ces différentes espèces en association avec l'arganier, leur production de biomasse et de litière et leur effet sur la fertilité des sols en fonction de leur potentiel fixateur d'azote *in situ*.

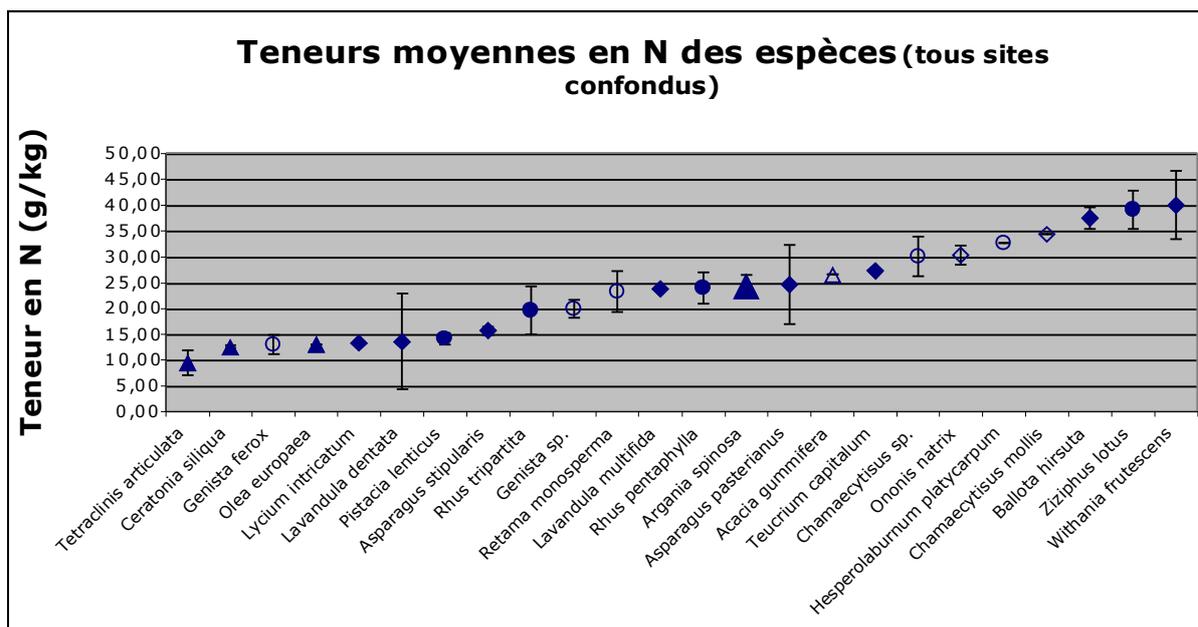
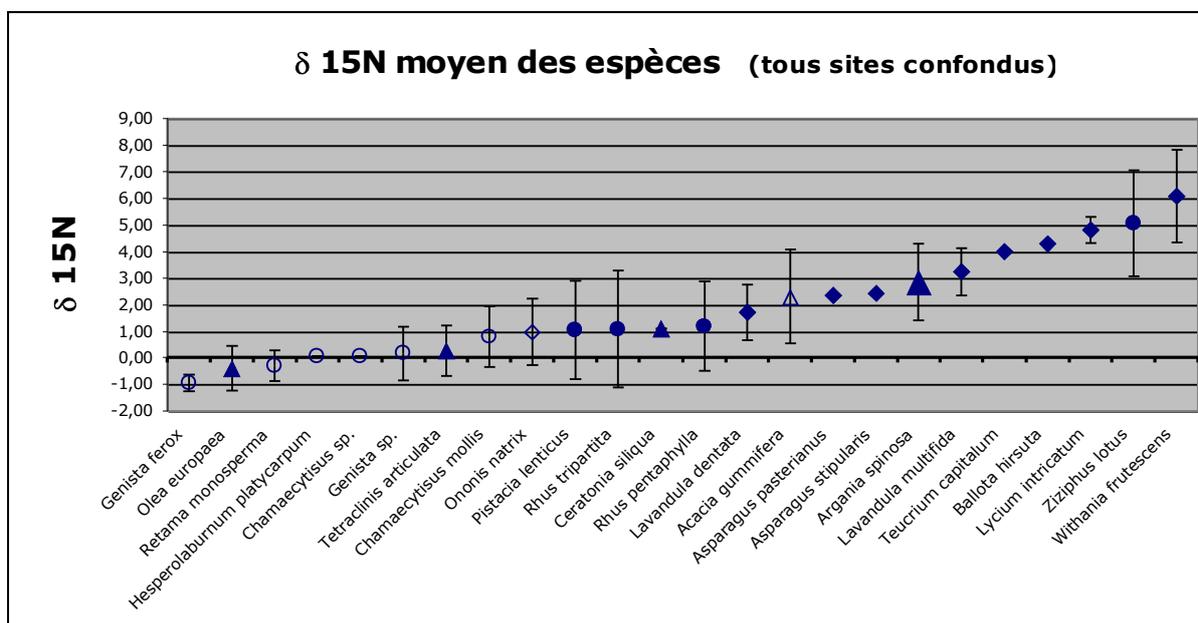
- Figure 17 : Abondances naturelles en ^{15}N contenues dans les feuilles de Légumineuses (symboles transparents) et d'espèces non-fixatrices d'azote (symboles pleins) prélevées dans 10 sites représentatifs de l'arganeraie en mars 2007 (dans le voisinage de 1 à 4 arganiers/site).



- Figure 18 : Teneur en N total de feuilles de Légumineuses (symboles transparents) et d'espèces non-fixatrices d'azote (symboles pleins) prélevées dans 10 sites représentatifs de l'arganeraie en mars 2007 (dans le voisinage de 1 à 4 arganiers/site).



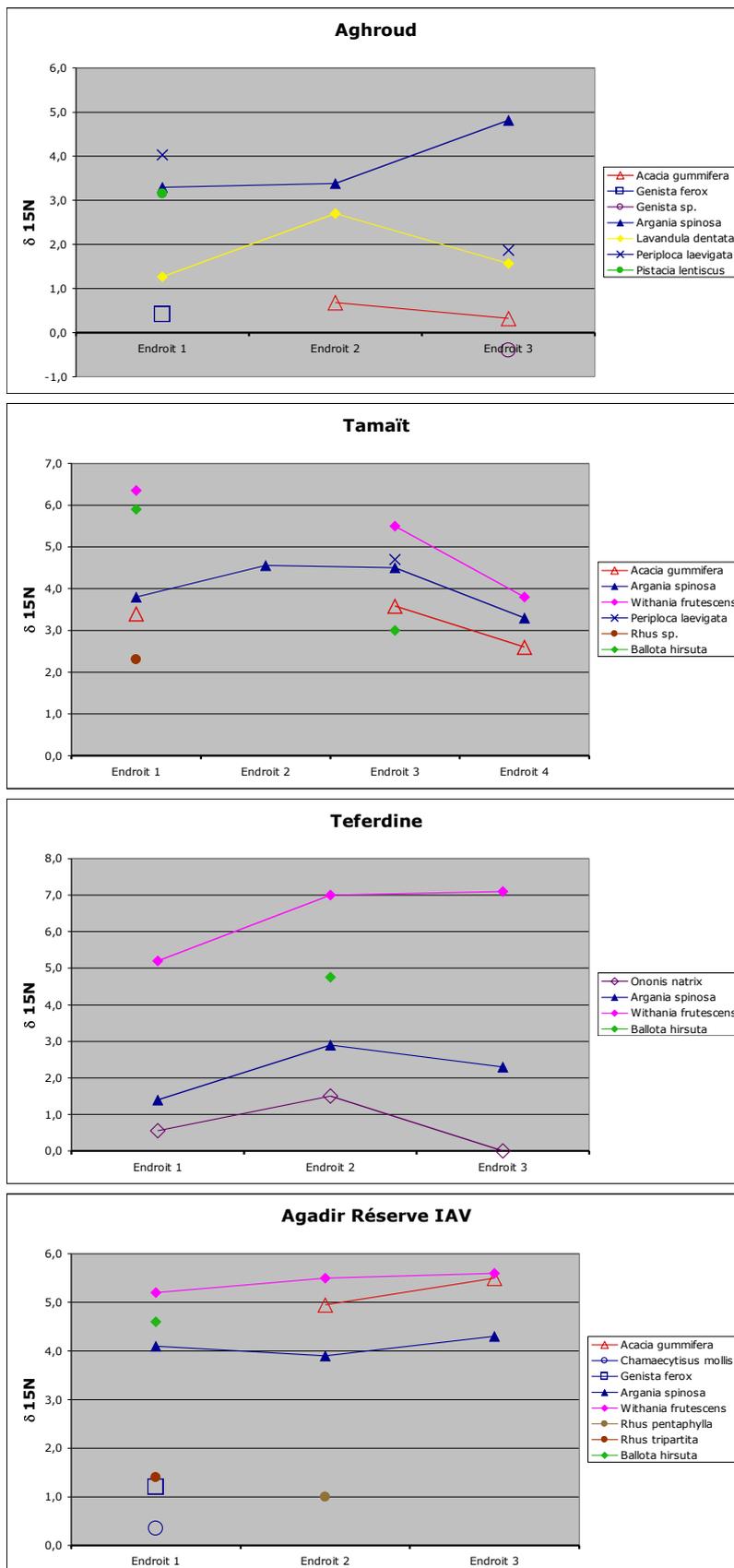
- Figure 19 : Abondances naturelles en ^{15}N et teneurs en N moyennes des feuilles d'arganier et de ses espèces associées* dans les 10 sites prospectés en mars 2007



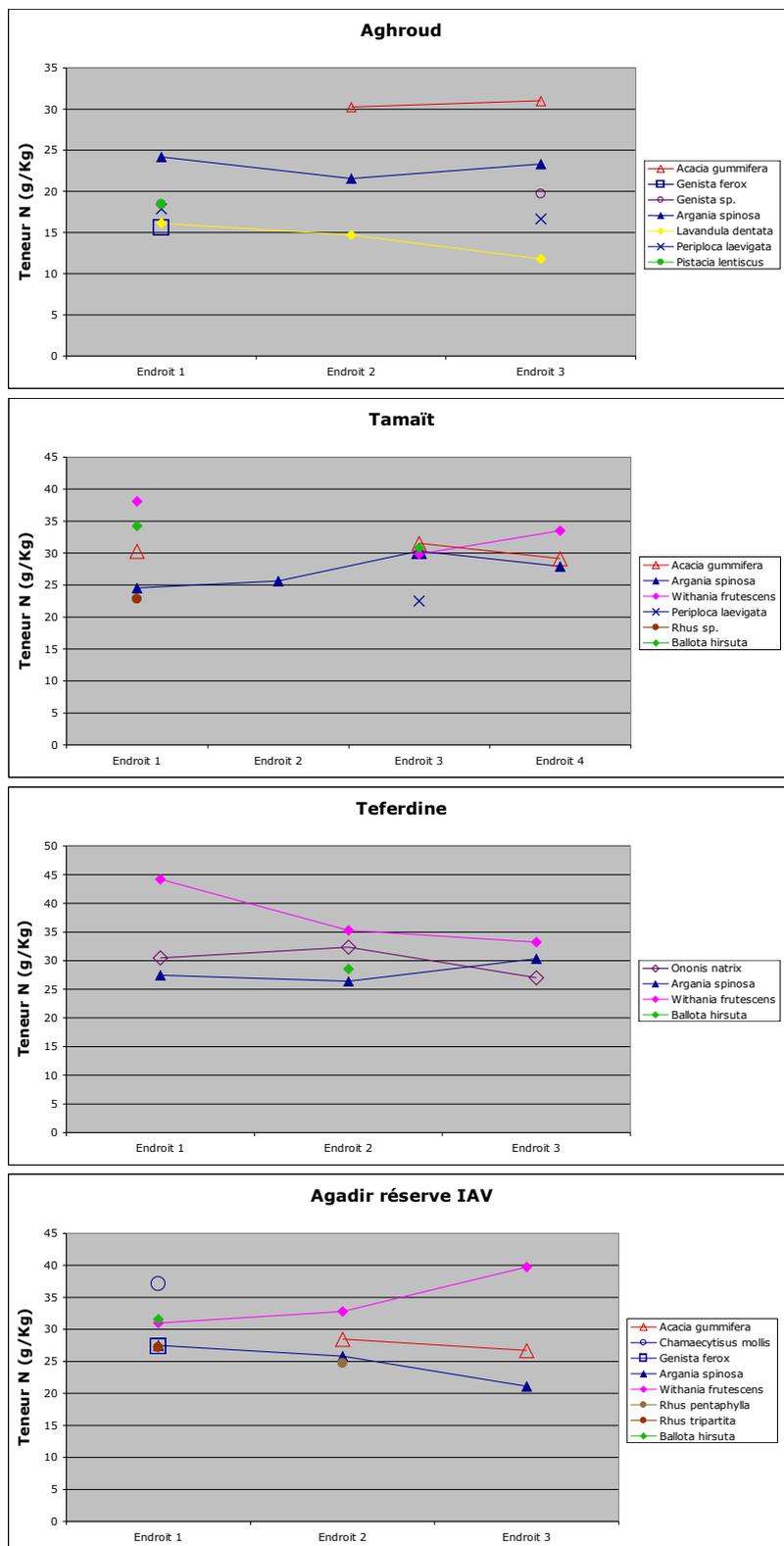
- Figure 20 : Pourcentage d'azote fixé par les différentes espèces de Légumineuses arbustives associées à l'arganier au sein des 10 sites prospectés en mars 2007

Site	<i>Acacia gummifera</i>	<i>Genista sp.</i>	<i>Retama monosperma</i>	<i>Chamaecytisus sp.</i>	<i>Hesperolaburnum sp.</i>	<i>Ononis natrix</i>	
Aghroud	70,0	95,1					82,6
Teferdine						70,3	70,3
Essaouira			93,4				93,4
Bouzemour	11,8	57,9		44,7		92,1	51,6
Tama't	82,2						82,2
Barrage Abdelmoumen		92,5					92,5
Ikherdiden		94,2					94,2
Douar Ighaline		100	82,4				91,2
A'tM'sal			82,2	100	97,8		93,3
r'serve IAV Agadir	27,8			93,2			60,5
	48,0	88,0	86,0	79,3	97,8	81,2	

- Figure 21 : Abondances naturelles en ^{15}N contenues dans les feuilles de Légumineuses (symboles transparents) et d'espèces non-fixatrices d'azote (symboles pleins) prélevées dans 4 sites de l'arganeraie en mars 2008 (dans le voisinage de 3 à 4 arganiers/site).



- Figure 22 : Teneur en N total de feuilles de Légumineuses (symboles transparents) et d'espèces non-fixatrices d'azote (symboles pleins) prélevées dans 10 sites représentatifs de l'arganeraie en mars 2008 (dans le voisinage de 3 à 4 arganiers/site).



III - Formation, production scientifique et transfert de connaissances

III.1 - Formation de stagiaires

1° / Par divers échanges de mails depuis septembre 2006 entre les Professeurs M. Sabir et M. Qarro de l'ENFI-Rabat et le CIRAD, il avait été convenu qu'un étudiant de l'ENFI en 6ème année, M. Youcef OUDAHA, apporterait son aide au projet ADS dans le cadre de son stage de fin d'études pendant 8 mois, d'octobre à mai 2007. L'encadrement principal devait être assuré par le Pr. Mohamed Qarro (avec le concours de MM. L. Kenny, M. Mokhtari et R. Bellefontaine). L'arrivée du stagiaire au Complexe Horticole d'Agadir (CHA) a dans un premier temps été retardée (en octobre, puis à début décembre) par la non-disponibilité des fonds. Cependant, lors de la mission de M. Bellefontaine en décembre 2006, M. Youcef OUDAHA était présent dans les bureaux de l'IAV à Agadir. Il a été directement intégré à l'équipe et a pu assister aux discussions, échanges et visites durant toute la semaine. Le CHA a facilité les questions d'hébergement. Pour des raisons administratives et familiales, il devait rentrer à Rabat pour la bibliographie et les fêtes de fin d'année et commencer ses activités sur le terrain en janvier 2007. Le stagiaire a reçu du CIRAD de la documentation et du matériel pour démarrer les travaux de multiplication végétative à faible coût, ainsi qu'une formation rapide (notamment avec un guide illustré qui doit sortir de presse fin décembre 2006 et dont il avait reçu une copie provisoire). Malheureusement et sans raisons clairement exprimées, M. Youssef OUDAHA s'est désisté en janvier 2007.

2°) Le CIRAD a pu in extremis (en mars 2007) « recruter » (sans gratification, ni salaire) une jeune étudiante en Master 2 (Bac +5) de l'Université de Paris XII, Mlle Lynda SAIBI. Ses conditions de travail n'ont de ce fait pas été excellentes, d'autant plus qu'au début de son stage, l'IAV-CHA n'avait pas encore reçu le montant qui lui était attribué. Mlle SAIBI a réalisé quelques travaux de marcottage aérien et de culture in vitro sous l'encadrement de L. Kenny et de Mokhtari pendant 5 mois (mars à juillet 2007).

Le recrutement des stagiaires européens a posé un problème au projet. Le projet n'a pu en 2007 engager d'étudiant européen, faute d'avoir pu budgéter le financement d'indemnités de stage rendues obligatoires par la loi française du 31 mars 2007 (loi Borloo).

3° De février à fin juillet 2008, une autre ingénieur, Mlle Lamia BOUICHE, régulièrement recrutée et payée par le CIRAD (grâce aussi au concours financier du Conseil Général de l'Hérault - France), a travaillé sur 2 thèmes : le marcottage aérien et le bouturage classique sous l'encadrement direct de M. Mokhtari. Début février avant son départ pour le Maroc, Mlle L. Bouiche a reçu pendant une semaine au CIRAD à Montpellier une formation accélérée relative à l'arganier et aux divers modes de régénération, ainsi qu'une documentation importante. Cette formation a été assurée gracieusement par R. Bellefontaine. Des achats de matériel (sur financement extérieur) pour les travaux de multiplication végétative à faible coût (marcottage aérien) ont été réalisés avant son départ par le CIRAD. Un protocole d'accord de stage, rédigé par le CIRAD en accord avec tous les partenaires, avait au préalable été signé en janvier 2008 entre Mlle Bouiche, l'Université de Paris XII, le CIRAD et l'IAV-CHA. Il prévoyait diverses actions de recherche (annexe 1 du 2ème rapport de mission de R. Bellefontaine).

IV - Remarques diverses sur le déroulement du projet

Les différents partenaires impliqués dans cette action ont manifesté une réelle volonté de conduire à bon terme les actions prévues. Ils ont cependant été tributaires à la fois du retard initial enregistré pour la signature des conventions et la mise à disposition des fonds. Les résultats obtenus sont néanmoins très satisfaisants.

- **IAV/Complexe horticole d'Agadir**: le chercheur en charge de la coordination des activités a pu mobiliser autour de lui une équipe motivée et fournir des installations de terrains ou de laboratoires adéquates pour la mise en œuvre des actions.

- **CIRAD**: les chercheurs impliqués dans ce projet ont également dû subir les retards indiqués précédemment auxquels se sont malheureusement ajoutés les effets d'une profonde restructuration de l'organisme qui a retardé la signature de la convention de partenariat, le temps d'identifier le nouveau département portant administrativement ce projet. Néanmoins les missions d'appui et de concertation avec l'IAV ont pu être réalisées, aboutissant à une clarification du rôle de chacun et à l'identification des sites d'expérimentation.

- L' **ENFI** (Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs) devait être associée à ce projet par la mise en place d'un post-doctorant pour lequel un programme détaillé d'expérimentation avait été élaboré. Malheureusement son désistement de dernière minute a fait échouer cette initiative qui était financée sur crédits extérieurs et qui aurait été très positive pour le projet.

- La **DREF** (Direction Régionale des Eaux et Forêts) d'Agadir a également étroitement informée sur le projet en cours et a pu ponctuellement apporter un appui logistique, notamment pour véhiculer les chercheurs sur les zones d'étude de l'arganeraie.

Le tout a été réalisé dans un excellent esprit de coopération.

Le projet a également permis à un technicien de l'IAV Agadir, Mr Abdelkarim Abouzid, d'acquérir grâce à des séjours financés par le projet et par Agropolis au Sénégal et au CIRAD Montpellier, la maîtrise des techniques de purification, de tri et de caractérisation des champignons arbusculaires à partir des sols, ainsi que des techniques d'estimation des taux de mycorhization racinaires. Cette compétence nouvelle pourra être mise à profit dans les futurs projets de recherche conduits par l'IAV.

Les missions réalisées au Maroc par les chercheurs du CIRAD (R Bellefontaine et J.M. Harmand en décembre 2006, A. Galiana et Y. Prin en mars 2007, R. Bellefontaine en février 2008, A. Galiana et Y. Prin en mars-avril 2008) ont permis, en concertation avec l'équipe de l'IAV/CHA animée par L. Kenny, d'actualiser le programme d'activités prévues et de l'ajuster de façon réaliste au calendrier agricole et aux moyens humains et financiers effectivement disponibles (cf. rapport de mission de R. Bellefontaine 12/2006).

Toutes les perturbations mentionnées précédemment ont cependant été prises en compte de façon bienveillante par l'ADS et la délégation de la Commission européenne au Maroc. De ce fait, la période d'exécution de ce volet recherche a été prolongée par avenant jusqu'en novembre 2008, ce qui a permis de mener à bien la quasi-totalité des activités de recherche prévue au contrat.