



HAL
open science

Production et fixation d'azote chez des luzernes annuelles en région méditerranéenne lors de la période froide

Armand Guckert, K. Sultan-Tubeileh, G. Gintzburger, M. Obaton, Christophe Robin

► To cite this version:

Armand Guckert, K. Sultan-Tubeileh, G. Gintzburger, M. Obaton, Christophe Robin. Production et fixation d'azote chez des luzernes annuelles en région méditerranéenne lors de la période froide. Fourrages, 2003, 173, pp.37-47. hal-02677034

HAL Id: hal-02677034

<https://hal.inrae.fr/hal-02677034>

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Production et fixation d'azote chez des luzernes annuelles en région méditerranéenne lors de la période froide

A. Guckert¹, K. Sultan-Tubeileh², G. Gintzburger³, M. Obaton⁴, C. Robin¹

Les luzernes annuelles (médics) constituent une ressource fourragère potentielle pour les zones semi-arides du Maghreb et du Mashreq. Les cultivars australiens ne sont pas adaptés aux basses températures observées en hiver dans ces zones. Pourquoi ne pas utiliser des écotypes locaux de médics associés à de nouvelles souches de *Sinorhizobium* efficaces à basses températures ?

RESUME

Une expérimentation de 2 ans conduite en Syrie a permis d'étudier les performances de 3 écotypes de médics du Maghreb et du Mashreq (*M. aculeata* accessions 80 et 5099 et *M. rigidula* accession 716) associés à différentes souches de *Sinorhizobium meliloti* (M620, M508, BZI). Production de biomasse et fixation d'azote sont plus importantes en 1999, en raison de conditions climatiques plus favorables. *M. aculeata* 5099 et *M. rigidula* 716 présentent des performances supérieures à *M. aculeata* 80. Les valeurs élevées de fixation de *M. rigidula* avec la souche BZI (72 et 87% d'azote fixé en 1998 et 1999) soulignent sa bonne adaptation aux conditions locales. La production de fourrage en zone semi-aride est donc possible pendant la phase hivernale à condition de mettre en œuvre des médics appropriées et associées à des souches adaptées.

MOTS CLES

Croissance végétale, fixation symbiotique de l'azote, hiver, luzerne annuelle, production fourragère, Syrie, température du sol, zone méditerranéenne.

KEY-WORDS

Annual medicks, forage production, herbage growth, Mediterranean region, soil temperature, symbiotic nitrogen fixation, Syria, winter.

AUTEURS

1 : UMR INPL(ENSAIA)/INRA "Agronomie et Environnement" Nancy-Colmar, BP 172, F-54505 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex.

2 : ICARDA, P.O. Box 5466, Alep, Syrie.

3 : CIRAD - EMVT (Econap), TA30/F Baillarguet, F-34398 Montpellier cedex 5.

4 : INRA, 2 Place Viala, F-34060 Montpellier cedex 1.

CORRESPONDANCE

A. Guckert, UMR INPL(ENSAIA)/INRA "Agronomie et Environnement" Nancy-Colmar, BP 172, F-54505 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex ; Armand.Guckert@ensaia.inpl-nancy.fr

En zone méditerranéenne, de nombreuses régions se caractérisent par un déficit de ressources fourragères, souvent aggravé par une réduction des surfaces cultivées en légumineuses. Ce déficit est particulièrement marqué pendant la période hivernale. Pour de grandes régions d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, où les températures hivernales sont souvent inférieures à 10°C, il est important de trouver des couverts végétaux permettant un pâturage par les moutons en période froide.

Les luzernes annuelles ou médics, dont la culture a été développée par les australiens dans le cadre du "*ley farming system*" (système céréale-médics), semblent constituer à cet égard une solution intéressante (Puckridge et French, 1983). Diverses tentatives d'implantation de ce système (Halse, 1993) ont été entreprises en Afrique du Nord (Doolette, 1980 ; Jaritz et Amine, 1993 ; Maatougi, 1993) ainsi qu'au Mashreq et en Asie de l'Ouest (Brockwell et al., 1988 ; Cocks et al., 1993 ; El-Turk, 1993 ; Erkan et Yilmaz, 1993 ; Nazafi-Dashlibrown, 1993 ; Nordblom et al., 1994). Ces essais étaient essentiellement basés sur la mise en œuvre de cultivars australiens. La plupart se sont soldés par des échecs pour diverses raisons (Maatougi, 1993 ; Gintzburger, 1994) dont la principale réside dans le choix de cultivars peu ou pas adaptés du fait notamment de leur mauvaise tolérance au froid (dégâts de gel et faible croissance en hiver et en début de printemps) ou l'absence dans le sol de souche de *Sinorhizobium* adaptée à cette accession.

Des travaux réalisés à l'ICARDA (*International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas*) ont permis la collecte d'un grand nombre d'accessions (écotypes) de médics (Cocks et Ehrman, 1987) ainsi que la constitution d'une collection de souches de *Sinorhizobium meliloti* provenant de diverses régions d'Asie Mineure à hiver froid (Reid et al., 1993 ; Materon, 1993 ; Materon et Ryan, 1995, 1996). La sélection de cultivars ou accessions (Papastilyanou, 1987), de souches de *Rhizobium* (Nautiyal, 1997), ou les deux (Ek-Jander et Fahreus, 1971 ; Webber, 1993 ; Gintzburger, 1994 ; Obaton et al., 1996), plus tolérantes à des conditions thermiques limitant la croissance, est une approche intéressante d'un point de vue économique. Les travaux présentés dans cette étude (Sultan et al., 2001) s'inscrivent dans ce contexte et visent à déterminer en conditions de plein champ l'effet des basses températures hivernales sur la croissance et l'efficacité de la fixation d'azote de trois associations médics-*Sinorhizobium*.

1. Dispositif expérimental

Les expérimentations ont été réalisées au cours de deux années successives en 1998 et 1999 (Sultan et al., 2001), sur le site de recherches de l'ICARDA (station de Tel Hadya à Alep au nord-ouest de la Syrie). Cette région semi-aride à hiver froid reçoit des précipitations annuelles de l'ordre de 324 mm et subit des périodes de gel modéré de 10 à 15 jours. Le sol des parcelles expérimentales est un vertisol ayant un pH de 8,1 et un taux de matières organiques de 1,2%. Ces parcelles n'ont pas porté de légumineuses antérieurement. Le protocole expérimental est basé sur un dispositif en blocs de type split-plot randomisé, comportant 4 répétitions la 1^{re} année et 5 la seconde. La taille des parcelles élémentaires est de 2 m x 8 m.

Trois accessions de médics tolérantes au froid, issues de la collection de l'ICARDA, ont été utilisées : *M. aculeata* accession 80 (A), *M. aculeata* accession 5099 (B) et *M. rigidula* accession 716 (R) originaires d'Algérie, du Liban et de Syrie respectivement. En référence à des études antérieures (Obaton et al., 1996), chaque accession a été inoculée avec une souche de *Sinorhizobium meliloti* ayant montré son aptitude à la nodulation et à la fixation de l'azote à basse température. Il s'agit respectivement de *S. meliloti* M620 (originaire du Maroc), M508 (originaire de Turquie) et BZI (provenant de St-Bauzille-de-Putois dans le sud de la France) pour les accessions A, B et R. Le dispositif comporte trois blocs : inoculé (traitement I), fertilisé avec de l'azote sans inoculation (F) et ni inoculé ni fertilisé avec de l'azote (témoin T). Les semis ont été réalisés manuellement, respectivement le 6 et le 20 janvier en 1998 et 1999, à une densité de 250 plantes au m². Les plantes fertilisées ont reçu l'équivalent de 90 kg d'azote par hectare en 3 applications (au semis, au stade 5-7 feuilles et au stade 15-17 feuilles) sous forme de sulfate d'ammonium, en solution.

En vue de mesurer la fixation d'azote, on a procédé à des applications d'azote 15 sur les parcelles inoculées et des parcelles d'orge de printemps (cultivar Arabi Aswad) qui ont servi de plantes de référence (technique de dilution isotopique). Pour le marquage à l'azote 15, $^{15}(\text{NH}_3)_2 \text{SO}_4$ est appliqué sur l'orge lors du semis, à raison de 10 kg/ha, avec un excès isotopique de 9,63%.

Deux échantillonnages ont été effectués afin d'évaluer la croissance et le développement des plantes ainsi que la production de biomasse, l'un en mars (fin de la période froide) et l'autre en mai, à maturité physiologique. Pendant la période froide, des observations sur les nodosités ont permis de déterminer leur date d'apparition, leur distribution et leur capacité à fixer l'azote (d'après la couleur rose de leur section). Diverses données relatives au

cycle de végétation ont également été enregistrées : apparition et développement des feuilles, nombre moyen de jours pour atteindre la floraison et la formation des gousses.

2. Résultats

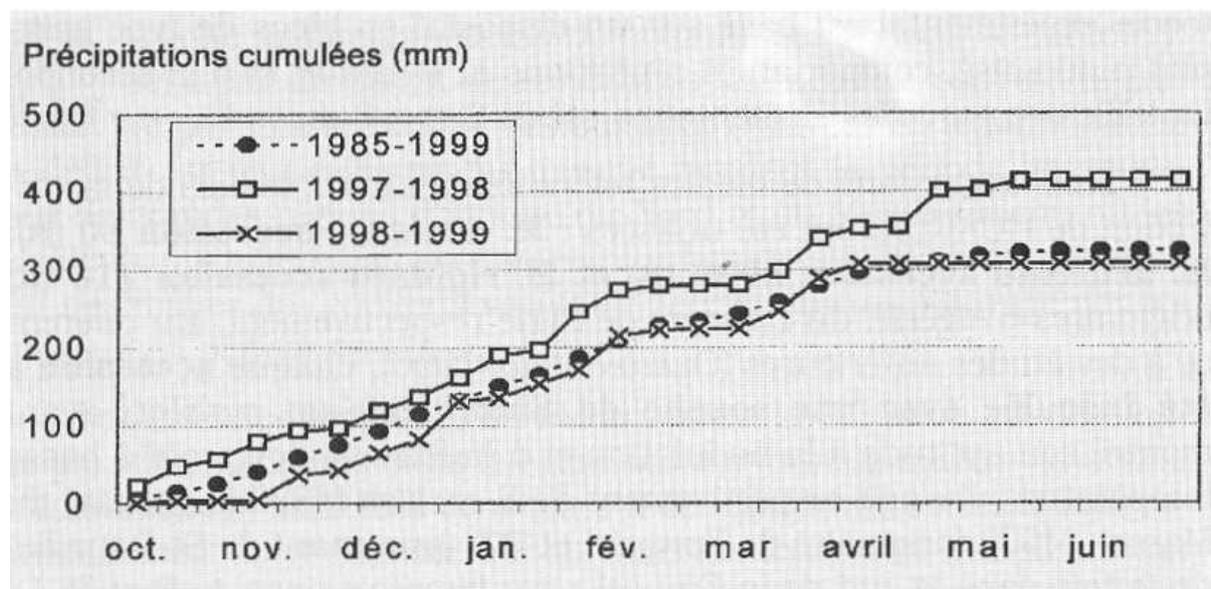
* Conditions climatiques

Les deux années d'expérimentation ont présenté des conditions climatiques sensiblement différentes. Les précipitations au cours de l'hiver 1998 ont été nettement supérieures à celles enregistrées en 1999 et à la moyenne sur 15 ans (figure 1). D'octobre 1997 à juin 1998, la somme des précipitations a été de 414 mm contre 308 mm pour la même période en 98/99, la moyenne sur 15 ans étant de 324 mm. Pendant la période allant du semis à la récolte (janvier à mai), les pluies ont été bien réparties en 1998, alors qu'en 1999 le mois de février a été particulièrement sec avec un arrêt des pluies à partir de la deuxième semaine de mars.

Les températures moyennes mesurées dans le sol à 10 cm de profondeur permettent d'évaluer l'impact du facteur thermique sur le fonctionnement des racines, la nodulation et l'activité du *Sinorhizobium* (figure 2). En 1998, la température minimale a oscillé entre 6 et 12°C pendant la période froide (décembre à mars) alors qu'elle a varié entre 6 et 23°C au cours de la période de croissance active. En 1999, les températures ont été nettement plus élevées et ont dépassé les valeurs moyennes sur 15 ans. Les sommes de températures moyennes (à 10 cm) du semis à la récolte ont été respectivement de 3 054°C et 3 442°C en 1998 et 99, la moyenne sur 15 ans pour la même période correspondant à 3 138°C.

Figure 1 : Précipitations annuelles cumulées moyennes sur 15 ans et pendant les saisons de culture à Tel Hadya (Syrie).

Figure 1 : Cumulated yearly rainfall (15-year means) and during the growing seasons (Tel Hadya, Syria).



* Production de matière sèche

Une différence marquée apparaît entre les deux années de végétation en ce qui concerne la réalisation des stades phénologiques, les tendances notées en 1998 devenant statistiquement significatives en 1999 (tableau 1). Pour les 3 accessions, on observe un effet net de l'apport d'azote minéral qui accroît la période végétative et retarde de ce fait la floraison et la formation des gousses. Pour les traitements inoculés, lors des 2 années, l'accession A nécessite un temps plus long pour atteindre la floraison et la formation des gousses que les accessions R et B. L'ordre de précocité s'établit donc ainsi : B précède R et A.

Figure 2 : Températures moyennes du sol à 10 cm de profondeur : moyenne sur 15 ans et pendant les saisons de culture à Tel Hadya (Syrie).

Figure 2 : Average soil temperatures at a depth of 10 cm : 15-year means and during the growing seasons (Tel Hadya, Syria).

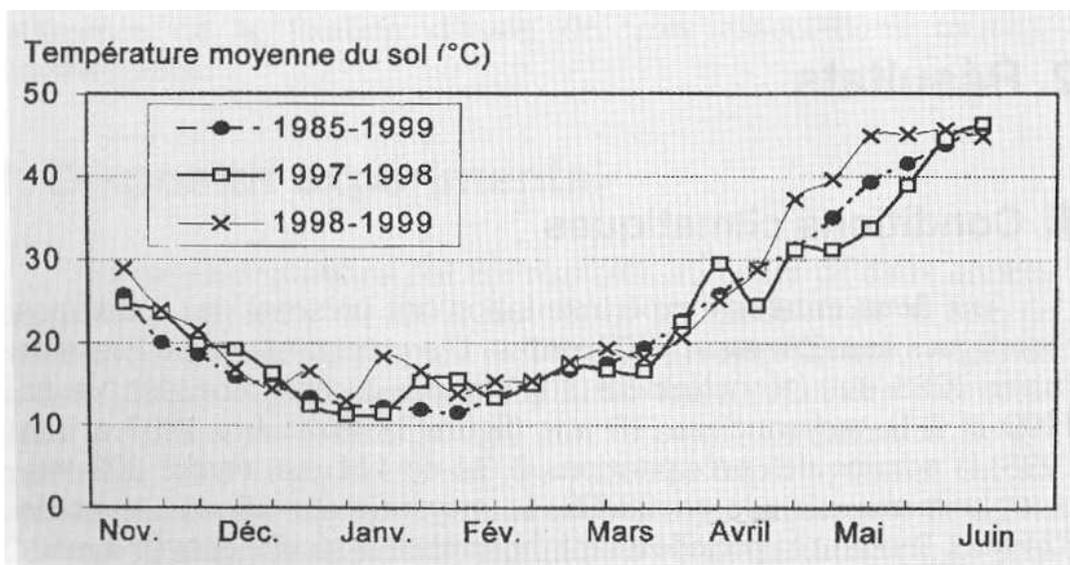


Tableau 1 : Nombre de jours (après l'ensemencement) nécessaires pour atteindre les différents stades de croissance pour les associations luzerne-Sinorhizobium en 1998 et 1999 à Tel Hadya (Syrie).

Table 1 : Number of days after sowing required for the various growth stages in medick-Sinorhizobium associations in 1998 and 1999 (Tel Hadya, Syria).

Stade	5-7 Feuilles		Floraison		Formation de gousses	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Traitement ⁽¹⁾						
AI	51 ab ⁽²⁾	36 b	111 abc	104 b	145 a	118 b
AF	49 ab	33 c	118 a	107 a	149 a	121 a
AT	53 a	39 a	113 ab	99 c	138 a	114 c
BI	44 bc	22 f	98 de	88 ef	129 a	106 e
BF	40 c	21 g	101 de	90 e	132 a	111 d
BT	45 bc	23 f	94 e	88 f	126 a	98 f
RI	47 abc	26 e	105 bcd	95 d	131 a	113 cd
RF	41 c	24 f	111 ab	98 c	141 a	117 b
RT	48 ab	28 d	102 cde	90 e	129 a	108 e
Effet Ecotype ⁽²⁾	***	***	***	***	NS	***
Effet Source d'azote	*	***	*	***	NS	***

(1) Traitements : **A** : *M. aculeata* acc. 80, **B** : *M. aculeata* acc. 5099, **R** : *M. rigidula* acc. 716
I : traitement inoculé, **F** : traitement fertilisé et **T** : témoin.

(2) Dans une colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de la PPDS ($P < 0,05$). L'effet des facteurs étudiés est déterminé après analyse de variance : NS : non significatif, * : $P < 0,05$, ** : $P < 0,01$ et *** : $P < 0,001$.

Par suite de températures hivernales plus basses en 1998, la croissance des 3 accessions, pour la plupart des traitements, est retardée et plus faible en comparaison de l'année 1999. Un effet de la fertilisation azotée sur la production de matière sèche (MS) est nettement visible pour les deux dates de prélèvement ; elle est la plus élevée pour le traitement N suivi par le traitement inoculé et le témoin (tableau 2).

Il est intéressant de comparer les données obtenues à la fin de la période froide et à maturité. Fin mars, l'accession B présente, tous traitements confondus, la production de biomasse la plus élevée (notamment en 1999), R occupe une position intermédiaire, alors que l'accession A se caractérise par la production la plus faible. L'inoculation exerce un effet très favorable ; à titre d'exemple, la production de matière sèche de l'accession B est améliorée de 50% en 1998 et de 38% en 1999 comparativement au témoin.

À maturité, on note une modification du classement des accessions : la production de MS est supérieure pour R, intermédiaire pour B et la plus faible pour A. En période chaude et sèche, l'accession B perd une partie de son avantage au profit de R. C'est également pour cette accession que l'effet de l'inoculation a été le plus marqué, la biomasse produite se rapprochant sensiblement de celle du traitement fertilisé.

Tableau 2 : Production de matière sèche (kg/ha) des parties aériennes à la fin de la période froide et à la fin du printemps pour les associations luzerne-Sinorhizobium en 1998 et 1999 à Tel Hadya (Syrie).

Table 2 : Dry matter yield (kg/ha) of the above-ground parts at the end of the cold period and at the end of spring in medick-Sinorhizobium associations in 1998 and 1999 (Tel Hadya, Syria).

Traitement ⁽¹⁾	Fin de la période froide (période végétative)		Fin du printemps (maturité physiologique)	
	1998	1999	1998	1999
AI	401 fg ⁽²⁾	476 de	2021 f	2531 e
AF	611 cde	663 bc	2652 ef	3504 bc
AT	343 g	377 e	1799 f	2096 f
BI	743 abc	757 b	3420 cd	3110 cd
BF	841 a	985 a	4485 a	4224 a
BT	499 ef	566 cd	2870 de	2730 de
RI	663 bcd	715 b	4290 ab	3706 b
RF	808 ab	779 b	4930 a	4239 a
RT	547 def	504 d	3730 bc	2810 de
Effet Ecotype ⁽²⁾	***	***	***	***
Effet Source d'azote	***	***	***	***

(1) Traitements : **A** : *M. aculeata* acc. 80, **B** : *M. aculeata* acc. 5099, **R** : *M. rigidula* acc. 716
I : traitement inoculé, **F** : traitement fertilisé et **T** : témoin.

(2) Dans une colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de la PPDS ($P < 0,05$). L'effet des facteurs étudiés est déterminé après analyse de variance : NS : non significatif, * : $P < 0,05$, ** : $P < 0,01$ et *** : $P < 0,001$.

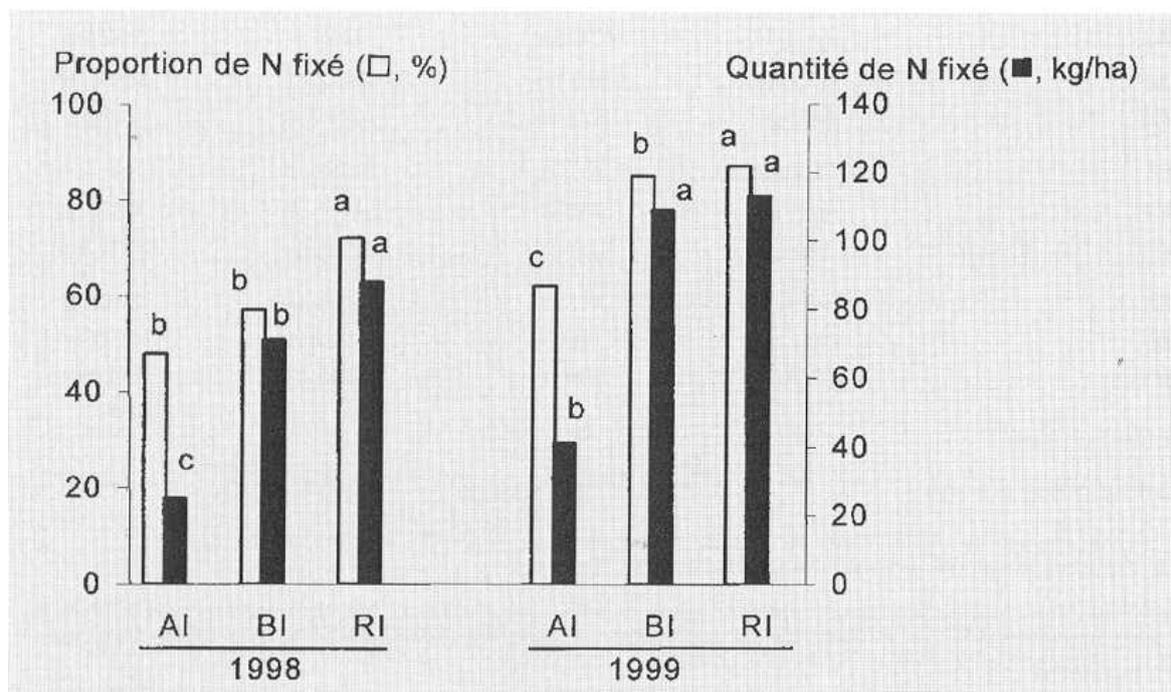
* Fixation symbiotique de l'azote

La formation des nodosités est plus précoce la 2^e année d'observation : elle s'échelonne sur une période de 24 à 32 jours en 1998, pour une durée de 17 à 23 jours en 1999. L'accession B est la plus précoce en terme de nodulation (résultats non présentés).

Les mesures ¹⁵N ont permis de déterminer les quantités totales d'azote fixé et la proportion d'azote provenant de la fixation atmosphérique (figure 3).

Figure 3 : Proportion d'azote provenant de la fixation et quantité d'azote fixé à la maturité physiologique pour les trois associations luzerne-*Sinorhizobium* cultivées en 1998 à Tel Hadya (Syrie). Traitements : A : *M. aculeata* accession 80, B : *M. aculeata* accession 5099 et R : *M. rigidula* accession 716 ; I : traitement inoculé. Pour un paramètre donné, les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de la plus petite différence significative ($P < 0,05$).

Figure 3 : Proportion of nitrogen originating from fixation and amount of nitrogen fixed at the physiological maturity, in the three associations medicks - *Sinorhizobium* grown in 1998 at Tel Hadya (Syria). Treatments : A : *M. aculeata* accession 80, B : *M. aculeata* accession 5099 and R : *M. rigidula* accession 716 ; I : inoculated treatment. For a given trait, results followed by the same letter are not significantly different according to the Least significant difference test ($P < 0,005$).

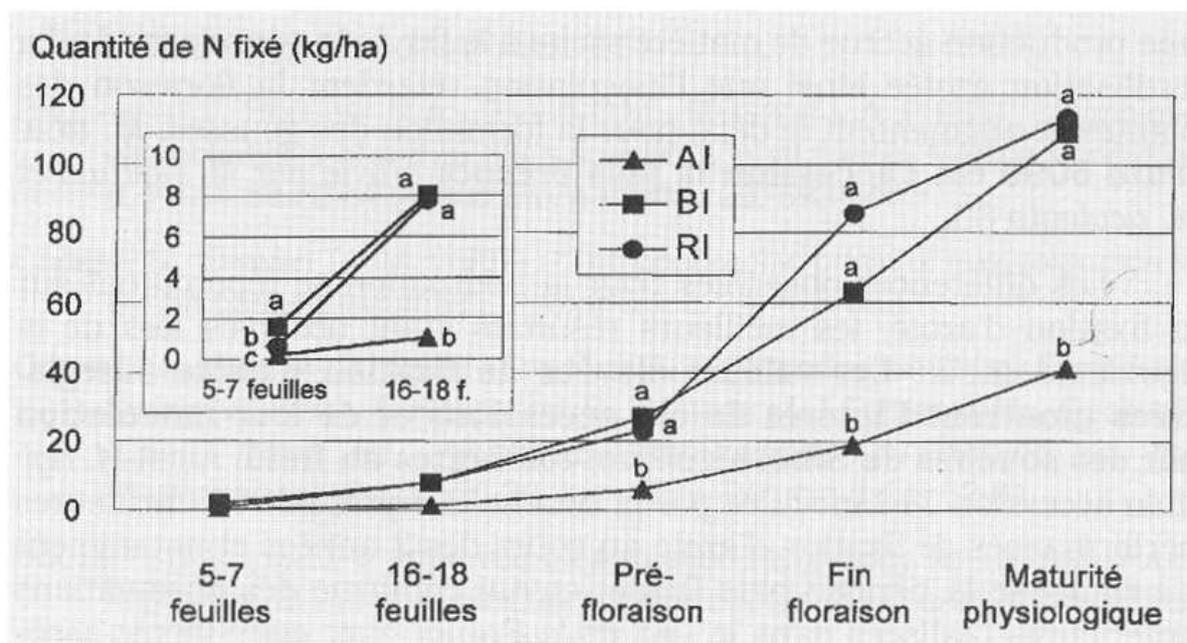


La fixation d'azote est plus importante au cours de l'année 1999. Des différences caractérisent les 3 accessions : A présente une fixation d'azote inférieure à B et R au cours des 2 années ; les différences entre A et B et R sont significatives pour la quantité d'azote fixé. Les pourcentages d'azote fixé sont relativement élevés : en 1999, l'azote fixé représente 62% de l'azote total des plantes pour A alors que les valeurs atteignent 85 et 88% pour les accessions B et R inoculées. En ce qui concerne les quantités fixées, des différences notables permettent aussi de distinguer les 2 années et les 3 accessions. En 1998, R est significativement supérieur à B et A, les valeurs étant respectivement de 88, 71 et 29 kg N fixé/ha. En 1999, les valeurs enregistrées sont plus fortes ; les accessions R et B présentent des valeurs comparables (109 à 113 kg/ha) alors que l'accession A est toujours en retrait (41 kg/ha).

Une analyse fine réalisée en 1999, basée sur 5 prélèvements, montre nettement (figure 4) comment les 3 associations se différencient au cours du cycle de végétation. Une différence significative apparaît dès le stade 16-18 feuilles des plantes, au profit de R et B sur A. Cet écart, soulignant la meilleure performance de R et B en matière de fixation d'azote, s'accroît jusqu'au stade de maturité des plantes.

Figure 4 : Quantité d'azote fixé à différents stades de culture pour les associations luzerne-Sinorhizobium étudiées en 1999 à Tel Hadya (Syrie). Dans l'encadré, l'ordonnée a été agrandie pour les stades juvéniles. Traitements : voir titre de la figure 3. Les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de la plus petite différence significative ($P < 0,05$).

Figure 4 : Amounts of nitrogen fixed at different growing stages in the associations medicks - Sinorhizobium studied in 1999 at Tel Hadya (Syria). In the insert, the ordinate was enlarged for the juvenile stages. Treatments : cf. figure 3. Results followed by the same letter are not significantly different according to the Least significant difference test ($P < 0,005$).



3. Discussion et conclusion

Les conditions climatiques ont été contrastées entre les deux années d'expérimentation. Alors que la période hivernale de 1998 a été représentative de la saison froide de cette région, les températures enregistrées en 1999 sont supérieures à la moyenne et les précipitations plus faibles. On observe au cours des 2 années un comportement différent des accessions : *M. aculeata* 5099 et *M. rigidula* 716 présentent une bonne croissance et une production de biomasse appréciable. En revanche, *M. aculeata* 80 présente une croissance plus faible, accompagnée d'une moindre accumulation de matière sèche. Les durées de végétation ont été respectivement de 5 et 4 mois en 1998 et 1999. La période hivernale de 1998 a été froide et pluvieuse, ce qui a affecté la croissance et surtout la nodulation comparativement à 1999.

L'apport d'engrais azoté exerce un effet positif évident au cours des 2 années et pour les 3 accessions, se traduisant surtout par une production accrue de matière sèche à la fin de la période froide. La fertilisation azotée ainsi que l'inoculation retardent la floraison des plantes et augmentent le délai pour la formation des gousses. *M. aculeata* 5099 est l'accession la plus précoce suivi par *M. rigidula* et *M. aculeata* 80.

Les différences observées pour la nodulation se répercutent sur la fixation d'azote, les meilleurs résultats étant observés lors de la deuxième année. Les valeurs élevées de fixation d'azote enregistrées montrent l'intérêt de ces accessions et de leur inoculation par des souches de *Sinorhizobium* tolérantes au froid. Ainsi *M. rigidula* accession 716 inoculée par la souche BZI présente les meilleures performances de fixation d'azote au cours des 2 années et notamment au cours de la période plus froide, ce qui confirme des observations antérieures réalisées dans le sud de la France avec cette même association (Ginzburger, 1994).

Par ailleurs, les caractéristiques morphologiques et la production de matière sèche de l'accession *M. aculeata* 5099 en font aussi un bon candidat pour la production de fourrage en zone méditerranéenne lors de la période froide, malgré une fixation d'azote plus faible. Une inoculation avec des souches de *Sinorhizobium* encore plus tolérantes au froid permettrait certainement d'améliorer les performances de cette accession lors de la période de basses températures. Un semis plus précoce pourrait aussi contribuer à améliorer la situation par une meilleure croissance pré-hivernale.

En résumé, ces expérimentations montrent qu'il est possible d'assurer une production de fourrage appréciable en zone méditerranéenne froide et lors de la période hivernale en mettant en œuvre des luzernes annuelles ou médics inoculées par des souches de *Sinorhizobium* efficaces à basse température. Ces associations assurent une fixation d'azote quantitativement importante, assurant ainsi un bon développement des plantes au moindre coût. Parmi les 3 luzernes annuelles testées, *M. rigidula* accession 716 en association avec la souche BZI semble la mieux adaptée aux conditions rencontrées en Syrie (région d'Alep). *M. aculeata* accession 5099 présente également de bonnes potentialités de production de biomasse en période froide. Toutefois cette accession doit être inoculée par une souche mieux adaptée aux basses températures que celle testée. Les travaux de sélection méritent donc d'être poursuivis tant sur le plan des accessions de médics que pour les souches de *Sinorhizobium*.

Accepté pour publication, le 4 février 2003

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier M. Zaklouta, F. Afandi, K. Taha et E. Khodary de l'ICARDA d'Alep en Syrie pour leur aide, P. Marchal (INRA-ENSAIA) pour son aide technique et C. Brechet (INRA Ecophysiologie Forestière) pour l'analyse des échantillons ¹⁵N. Le soutien de l'ICARDA fut d'une aide précieuse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brockwell J., Holliday R.A., Daoud D.M., Materon L.A. (1988) : "Symbiotic characteristics of a rhizobium specific annual medic, *Medicago rigidula* (L.) All.", *Soil Biology and Biochemistry*, 20, 593-600.

Cocks P.S., Ehrman T.A.M. (1987) : "The geographic origin of frost tolerance in Syrian pasture legumes", *J. Appl. Ecol.*, 24, 678-683.

Cocks P.S., Mawlawi B., Sawmy-Edo H. (1993) : "Introduction of Ley Farming in Syrian villages", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 52-64.

Doolette J. B. (1980) : "Improved crop rotation technology for Tunisia", *Proc. Improving Dryland Agriculture in the middle East and North Africa*, Stanford Univ., Ford Foundation, USA, 72-80.

Ek-Jander J., Fahreus G. (1971) : "Adaptation of *Rhizobium* to sub-arctic environment in Scandinavia", *Plant and Soil*, Special Volume, 129-137.

El-Turk A. (1993) : "Attempts to introduce the Ley-Farming System in Jordan", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 65-72.

Erkan O., Yilmaz L. (1993) : "The Potential and problems of the Ley-Farming System in the High-elevation Areas of Turkey", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 79-85.

Gintzburger G. (1994) : "Durabilité du développement fourrager et pastoral, et ressources phylogénétiques en zones méditerranéennes semi-arides et arides", Tazi, M., Gharbaoui A. (Eds), *Actes "Productions fourragères et ressources phylogénétiques au Maghreb"*, INRA Morocco, 51-77.

Halse N.J. (1993) : "Australian Attempts to Introduce the Ley-Farming System to West Asia and North Africa", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 1-14.

Jaritz G., Amine M. (1993) : "Practical Experiences with the Implementation of an Annual Medic-based Ley-Farming System in Morocco", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 30-43.

Maatougui M.E.H. (1993) : "Constraints to the Ley-Farming System in Algeria", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 127-134.

Materon L.A. (1993) : "Constraints to Nodulation of Annual Medics by Indigenous Populations of *Rhizobium meliloti* in West Asian Soils", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 192-202.

Materon L.A., Ryan J. (1995) : "Rhizobial inoculation and phosphorus and zinc nutrition for annual medics adapted to Mediterranean environments", *Agronomy Journal*, 87, 692-698.

Materon L.A., Ryan J. (1996) : "Effects of rhizobial inoculation and mineral nutrition on common Mediterranean pasture and forage legumes", *Agricoltura Mediterranea*, 126, 64-74.

Nautiyal C.S. (1997) : "A method for selection and characterization of rhizosphere-competent bacteria of chickpea", *Current Microbiology*, 34, 12-17.

Nazafi-Dashlibrown P. (1993) : "The Potential of Medic-based Ley-Farming : Constraints and Recommendations for implementation within Iran", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 86-98.

Nordblom T.L., Panell D.J., Christiansen S., Nersoyan N., Bahhady F. (1994) : "From weed to wealth ? Prospects for medic pastures in the Mediterranean farming system of North-west Syria", *Agricultural Economics*, 11, 29-42.

Obaton M., Materon L., Zaklouta M., Gintzburger G. (1996) : "Effect of low temperature on the nitrogen nutrition of annual medics : preliminary results", Genier, G., Prosperi, J.M. (Eds), *Le genre Medicago en Méditerranée: bilan et perspective de recherche*, FAO/CIHEAM Réseau Méditerranéen "Pâturage et cultures fourragères", *Options Méditerranéennes*, 18, 103-12.

Papastilyanou I. (1987) : "Amount of nitrogen fixed by forage, pasture and grain legumes in Cyprus, estimated by the A-value and a modified difference method", *Plant and Soil*, 104, 23-29.

Puckridge D.W., French R.J. (1983) : "The annual legume pasture in cereal-ley farming systems of Southern Australia: a review", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 9, 229-267.

Reid R., Konopka J., Rihan J.R. (1993) : "Needs and properties for further collection of annual medic germplasm", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 252-270.

Sultan K., Gintzburger G., Obaton M., Robin C., Touchane H., Guckert A. (2001) : "Growth and nitrogen fixation of annual *Medicago-Rhizobium* associations during winter in Mediterranean region", *European Journal of Agronomy*, 15, 221-229.

Webber G.D. (1993) : "Extension of ley farming in the Mediterranean basin", Christiansen S., Materon L., Falcinelli M., Cocks P. (Eds), *Proc. Int. Workshop "Introducing Ley-Farming to the Mediterranean Basin"*, 26-30 Juin 1989, Perugia Italie, 165-172.

SUMMARY

Dry matter production and nitrogen fixation efficiency of annual medicks in a cold Mediterranean environment

Low winter temperatures in Mediterranean rangelands delay the growth of forage plants, particularly that of Australian cultivars of annual *Medicago* species (medicks). Finding appropriate associations of medick - *Sinorhizobium* able to grow at low temperatures is agronomically and economically important. In this context, the performance (plant development, yield and nitrogen fixation) of three *Medicago* cultivars originating from the Maghreb and the Mashreq were studied in the field at the ICARDA Research Station (Aleppo, Syria) in 1998 and 1999 : *M. aculeata* accession 80 (A) and accession 5099 (B) and *M. rigidula* accession 716 (R), with three different sources of nitrogen : N : fertilized ; I : inoculated with strains M620, M508 and BZI of *Sinorhizobium meliloti* ; and T, control (no inoculation, no fertilization).

Results indicate a genotypic variation of the annual medicks in tolerance to low temperatures. Accession A had a slow growth pattern with low dry matter production compared with B and R over the two seasons. In both seasons and at the early growth stages, the *Sinorhizobium* strain played a key role in plant growth ; both inoculated and fertilized plants of accession R had comparable dry matter yields. The proportion of nitrogen derived from fixation in A was very low, which was reflected, in turn,

in the total amount of fixed nitrogen. The proportion of fixed nitrogen in the association R-BZI association was high in both years, where it reached 72 and 87% of the total plant N respectively. It is suggested that associations differed in their response to low winter temperatures. *M. rigidula* accession 716 inoculated with the strain BZI proved the best adapted association to the local environment among those studied. *M. aculeata* accession 5099 seemed also promising for winter growth, provided it is inoculated with a strain better adapted to low temperatures.