

Le point sur les travaux réalisés en amélioration des plantes sur les luzernes annuelles par le Programme Fourrages de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc

Bounejmate M.

in

Genier G. (ed.), Prospero J.M. (ed.).
The Genus *Medicago* in the Mediterranean region: Current situation and prospects in research

Zaragoza : CIHEAM
Cahiers Options Méditerranéennes; n. 18

1996
pages 53-64

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=96605760>

To cite this article / Pour citer cet article

Bounejmate M. **Le point sur les travaux réalisés en amélioration des plantes sur les luzernes annuelles par le Programme Fourrages de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc.** In : Genier G. (ed.), Prospero J.M. (ed.). *The Genus Medicago in the Mediterranean region: Current situation and prospects in research* . Zaragoza : CIHEAM, 1996. p. 53-64 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 18)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

**LE POINT SUR LES TRAVAUX RÉALISÉS EN AMÉLIORATION DES PLANTES SUR
LES LUZERNES ANNUELLES PAR LE PROGRAMME FOURRAGES DE L'INSTITUT
NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE DU MAROC**

M. Bounejmate¹

ABSTRACT

In the early 80's, there has been increasing interest in the introduction of the Australian ley-farming system in Morocco. During the last fifteen years, main part of our research program aimed to get a better knowledge of annual *Medicago* species in order to propose use of annual legume pastures in place of fallow.

Local medic species and ecotypes have proven to be far adapted to local conditions than introduced cultivars. One thousand-eight-hundred-fifty-five ecotypes belonging to 11 species were collected from 1983 to 1989 through six collections covering main agronomical areas of the country. These accessions were studied in order to precise their distribution and environmental adaptation to pH, clay, phosphorus, nitrogen concentrations, temperature and rainfall. In parallel, agronomic experiments gave us satisfying information concerning dry matter and seed production. Five of these species were also compared for their coumestrol concentration as factor of fertility for ewes.

At least, the author insist on the importance of genetic erosion and the interest to survey and protect the rarer species.

Key words: Annual *Medicago*, Morocco, medic, distribution, agronomical traits, forage production.

1. INTRODUCTION

Les espèces annuelles du genre *Medicago* (medics) sont des espèces originaires du bassin méditerranéen et d'autres régions à climat méditerranéen (Heyn 1963 ; Cocks *et al.* 1980). Leur rôle agricole a été reconnu dès les années trente quand Trumble et Donald (1938) ont recommandé la culture de *Medicago truncatula* Gaertn. sur les sols calcaires de l'Australie du sud-ouest. Dans cette région, les medics ont été utilisées en rotation avec les céréales et ont eu un grand impact sur la production agricole (Cocks *et al.* 1980).

Le succès des medics en Australie et le rôle potentiel qu'elles peuvent jouer pour la mise en valeur des zones arides et semi-arides a suscité un grand intérêt au Maroc. Aussi, de nombreux laboratoires nationaux de recherche ont accordé au cours des 15 dernières années, une attention particulière à une meilleure connaissance de ces espèces.

Parmi ces laboratoires, le Programme Fourrages de l'INRA a consacré une part importante de ces moyens humains et matériels à des travaux de recherche visant le remplacement des jachères par des prairies à base de medics. En vue d'élaborer les recommandations nécessaires pour la pratique, les recherches ont été variées et ont touché divers aspects de la culture, de l'exploitation et de l'utilisation de ces espèces.

La présente communication se limite à la synthèse des résultats portant sur les travaux réalisés par le Programme Fourrages en matière d'amélioration des plantes sur ces espèces. Elle se base pour l'essentiel sur quatre études : Bounejmate (1992), Cremer-Bach (1992), Feniche (1993) et Thami-Alami (1994a).

¹Programme Fourrages, INRA, BP 415, Rabat RP, Rabat, Maroc.

ADAPTATION DES VARIETES AUSTRALIENNES

Les recherches sur les medics ont commencé de façon intensive en 1981. Durant les sept premières années, les travaux de recherche ont été orientés essentiellement vers l'adoption du système australien, afin d'en déterminer les possibilités et les limites.

En matière de choix des espèces et variétés, l'ensemble des variétés australiennes commercialement disponibles ont fait l'objet de nombreux essais d'adaptation en petites et en grandes parcelles couvrant une large gamme de sites variables par leur pH, texture, drainage et durée de végétation. Ainsi, 13 variétés commerciales (Serena, Harbinger, Cyprus, Parabinga, Santiago, Paraponto, Circle Valley, Sava, Sephi, Paraggio, Jemalong, Tornafield et Zodiac), appartenant à 7 espèces, ont été recommandées en fonction de leurs exigences édaphiques et pluviométriques.

Les résultats de ces essais, joints aux observations effectuées en grandes parcelles chez des agriculteurs ont montré que certaines niches écologiques ne peuvent pas être couvertes par les variétés commerciales australiennes. Ces dernières se sont notamment révélées inadaptées aux sols acides, aux zones de montagne et aux zones à pluviométrie inférieure à 300 mm.

L'identification de ce besoin en variétés adaptées aux conditions locales a été l'origine d'un vaste programme de recherche sur le matériel autochtone. Les espèces locales de medics, composées d'individus ayant survécu à plusieurs milliers d'années de sélection naturelle, seraient plus aptes à valoriser les différents climats, sols et systèmes de gestion rencontrés au Maroc.

Ce programme de recherche a porté sur la collecte et la distribution des medics marocaines en relation avec certains facteurs climatiques et édaphiques, sur la définition de l'aire où les medics peuvent être cultivées avec succès ainsi que sur le développement de cultivars.

COLLECTE DU MATERIEL VEGETAL LOCAL

Plusieurs missions ont été effectuées par le Programme Fourrages au cours des dix dernières années pour la collecte des espèces annuelles locales du genre *Medicago* (Tableau 1).

Tableau 1. Principales collectes de luzernes annuelles effectuées au Maroc

• Années et collecteurs	• Régions prospectées et (Nbre écotypes)
<ul style="list-style-type: none"> • 1983 B.H. Somaroo, W. Boumoghlabi, M. Bounejmate, G. Jartiz et A. Glazle 	<ul style="list-style-type: none"> • Rabat, Casablanca, Marrakech, Azilal, Béni-Mellal, Settat (293)
<ul style="list-style-type: none"> • 1983 M.D. Rumbaugh, W.L. Graves 	<ul style="list-style-type: none"> • Rabat, El Jadida, Marrakech, Taroudant, Ouarzazate, Errachidia, Midelt, Azrou, Taza, Al Hoceïma, Tanger, Chefchaouen (100)
<ul style="list-style-type: none"> • 1985 W.L. Graves 	<ul style="list-style-type: none"> • Béni-Mellal, Azilal, Marrakech, Ouarzazate, Errachidia, Midelt (50)
<ul style="list-style-type: none"> • 1987 C.M. Francis 	<ul style="list-style-type: none"> • Rabat, Béni-Mellal, Azilal, Demnat et Moyen-Atlas (299)
<ul style="list-style-type: none"> • 1988 M. Bounejmate, P.E. Beale 	<ul style="list-style-type: none"> • Oujda, Marrakech, Béni-Mellal, Settat, Tanger et Moyen-Atlas (386)
<ul style="list-style-type: none"> • 1988 M. Cremer-Bach 	<ul style="list-style-type: none"> • Sols acides (411)
<ul style="list-style-type: none"> • 1988 M. Baumann 	<ul style="list-style-type: none"> • Midelt, Guercif, Oujda et Tendrara (270)
<ul style="list-style-type: none"> • 1989 P. Beuselinck, J. Kirkbrid W.L. Graves et C. Roberts 	<ul style="list-style-type: none"> • Agadir, Tiznit, Tafraout, Marrakech, El Jadida, Settat, Azrou, Ifrane, Oued-Zem, Chefchaouen, Fès, Taza, Guercif, Oujda (36)

(Source : adapté de Bounejmate 1994)

Parmi ces collectes, les plus significatives ont été celles effectuées par Bounejmate et Beale en 1988 et par Cremer-Bach, également en 1988. Lors de la première collecte, 161 sites ont été échantillonnés dans les six régions agricoles potentielles du Maroc pour l'introduction des médics. La prospection de Cremer-Bach a couvert l'ensemble des régions à sols acides du pays, avec un total de 104 sites ; à l'occasion de cette prospection, des nodosités de *Medicago* spp. annuelles ont été également collectées (Thami-Alami, 1994a).

ETUDES DE DISTRIBUTION

Les données recueillies lors des collectes ont été exploitées pour une meilleure connaissance de l'aire d'adaptation et de répartition des espèces et populations locales. Ces études de distribution ont permis de mieux définir l'aire potentielle où ces espèces peuvent être cultivées avec succès.

1. Luzernes annuelles pour sols alcalins

La collecte effectuée en 1988 dans six régions agricoles du pays à sols alcalins a permis d'étudier la distribution en relation avec le sol et le climat et d'apprécier l'étendue de l'érosion génétique chez les luzernes annuelles. Cette collecte diffère de toutes les précédentes en ce sens qu'en plus de la présence des espèces, les rendements en gousses et en semences ont été déterminés. Les échantillons de sol ont été analysés pour la texture, pH, phosphore, potassium, carbonate de calcium, et sels totaux. Les données climatiques ont été reprises à partir de documents publiés. Les résultats de cette collecte sont présentés ci-après.

Espèces et leur abondance

Onze espèces ont été trouvées. *Medicago polymorpha* et *M. truncatula* ont été les espèces les plus fréquentes, suivies de *M. laciniata*, *M. aculeata* et *M. orbicularis*. *M. scutellata*, *M. murex* tandis que *M. intertexta* étaient rares.

Le rendement moyen en semences pour l'ensemble des sites a été de 12,6 kg ha⁻¹. Dans environ 60% des cas, le rendement total en semences était de moins de 20 kg ha⁻¹ avec un rendement maximum de 169 kg ha⁻¹.

Distribution en relation avec le sol et le climat

La distribution des espèces de médics était contrôlée aussi bien par les facteurs édaphiques que climatiques. En terme de présence ou d'absence, seules *M. truncatula* et *M. minima* étaient indépendantes des différences édapho-climatiques entre sites.

Influence des facteurs climatiques

La présence de cinq espèces a été significativement corrélée avec la pluviométrie du site de collecte. *M. intertexta* a été trouvée seulement dans les zones à pluviométrie élevée, *M. murex* et *M. aculeata* dans les zones à pluviométrie moyenne alors que *M. laciniata*, *M. littoralis* et *M. tornata* étaient associées avec des sites à faible pluviométrie (Tableau 2).

La température a eu un effet significatif sur deux espèces : *M. intertexta* a été confinée aux zones à hivers et étés doux alors que la présence de *M. laciniata* a été limitée aux zones à étés très chauds.

Tableau 2. **Influence des facteurs climatiques sur la présence des espèces annuelles de *Medicago*.** **P** : Moyenne des sites où l'espèce est présente. **A** : Moyenne des sites où l'espèce est absente. **S** : niveau de signification. **ns** non significatif. **+** : significatif à $P < 0,05$. **++** : significatif à $P < 0,01$, et **+++** : significatif à $P < 0,001$. **m** : Moyenne des températures minima du mois le plus froid. **M** : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud. (Source : Bounejmate 1992)

	m (°C)			M (°C)			Pluviométrie (mm)		
	P	A	S	P	A	S	P	A	S
<i>M. aculeata</i>	4,2	4,8	ns	34,1	33,9	ns	550	434	+
<i>M. intertexta</i>	8,2	4,5	+++	27,0	34,2	+++	733	465	+
<i>M. laciniata</i>	4,3	4,8	ns	36,0	33,0	+++	322	548	+++
<i>M. littoralis</i>	4,7	4,6	ns	35,0	33,9	ns	325	453	+++
<i>M. minima</i>	4,4	4,6	ns	33,3	34,2	ns	526	456	ns
<i>M. murex</i>	6,8	4,6	ns	30,0	34,1	ns	657	466	ns
<i>M. orbicularis</i>	4,1	4,8	ns	34,9	33,7	ns	458	475	ns
<i>M. polymorpha</i>	4,7	4,4	ns	33,9	34,3	ns	502	420	ns
<i>M. M. scutellata</i>	3,9	4,6	ns	35,9	34,0	ns	689	466	ns
<i>M. tornata</i>	4,6	4,6	ns	31,3	34,1	ns	345	474	++
<i>M. truncatula</i>	4,5	4,7	ns	34,4	33,8	ns	433	498	ns

Influence des facteurs édaphiques

La présence de la majorité des espèces était influencée par la texture du sol (Tableau 3). *Medicago aculeata*, *M. orbicularis* et *M. polymorpha* ont été associées avec des sols à teneur en argile élevée. Dans les sites où *M. laciniata*, *M. littoralis* et *M. tornata* ont été trouvées, la teneur en argile était significativement inférieure à celle des sites où ces espèces étaient absentes.

Le pH du sol semble affecter la présence de deux espèces. *M. laciniata* et *M. littoralis* ont été trouvées sur des sites à pH plus élevé.

La présence de *M. tornata* et de *M. murex* était associée avec des teneurs faibles en carbonate de calcium.

La présence de *M. laciniata* et de *M. orbicularis* était associée avec des teneurs en phosphore élevées à l'inverse de *M. intertexta* trouvée sur des sols très pauvres en phosphore.

Tableau 3. **Influence des facteurs édaphiques sur la présence des espèces annuelles de *Medicago*.** **P** : Moyenne des sites où l'espèce est présente. **A** : Moyenne des sites où l'espèce est absente. **S** : niveau de signification. **ns** non significatif. **+** : significatif à $P < 0,05$. **++** : significatif à $P < 0,01$, et **+++** : significatif à $P < 0,001$. (Source : Bounejmate 1992)

	pH			Argile (%)			P205 (μg)			CaCO ₃ (%)		
	P	A	S	P	A	S	P	A	S	P	A	S
<i>M. aculeata</i>	7,1	7,0	ns	32,4	24,6	+	24,5	18,5	ns	12,1	11,7	ns
<i>M. intertexta</i>	7,2	7,1	ns	50,6	26,5	ns	6,1	20,6	+	6,3	11,9	ns
<i>M. laciniata</i>	7,3	6,9	+++	21,6	29,4	+++	21,6	17,4	+	14,6	10,2	ns
<i>M. littoralis</i>	7,4	7,0	++	17,8	28,4	+	19,3	20,5	ns	15,7	11,1	ns
<i>M. minima</i>	7,2	7,0	ns	28,0	26,7	ns	18,8	20,8	ns	14,4	11,2	ns
<i>M. murex</i>	6,5	7,1	ns	19,0	27,1	ns	7,3	20,6	ns	0,4	12,1	+++
<i>M. orbicularis</i>	7,1	7,1	ns	36,2	23,2	+++	31,6	15,9	++	14,1	10,9	ns
<i>M. polymorpha</i>	7,0	7,2	ns	32,0	19,2	+++	22,7	16,8	ns	11,4	12,5	ns
<i>M. M. scutellata</i>	7,4	7,1	ns	33,7	26,7	ns	41,0	20,1	ns	6,6	11,9	+
<i>M. tornata</i>	6,9	7,1	ns	27,5	27,5	++	13,5	20,6	ns	1,3	12,2	+++
<i>M. truncatula</i>	7,1	7,1	ns	25,7	25,7	ns	21,8	19,3	ns	14,0	10,2	ns

2. Luzernes annuelles pour sols acides

Quatre cent onze écotypes représentant neuf espèces de *Medicago* ont été collectés sur les 104 sites prospectés. Avec 50%, *M. polymorpha* était l'espèce la plus fréquente, suivie par *M. tornata* (17%) et *M. truncatula* (13%). Les espèces *M. aculeata*, *M. murex*, *M. minima*, *M. orbicularis*, *M. arabica* et *M. laciniata* étaient présentes sur moins de 10% des sites.

Les espèces diffèrent quant à leur répartition en fonction de la pluviométrie. *M. tornata* et *M. truncatula* dominent dans la classe 300-600 mm ; *M. aculeata* plutôt dans la classe 600-900 mm. *M. murex* préfère les zones à forte pluviométrie.

M. polymorpha a été présente à toutes les altitudes. Tous les écotypes de *M. tornata* ont été collectés à proximité du littoral, à moins de 160 m. De même, *M. murex* n'était presque exclusivement présente que dans la zone du littoral. *M. truncatula* a été trouvée à toutes les altitudes, jusqu'à 1100 m. *M. aculeata* est bien adaptée aux altitudes élevées puisque 50% des écotypes collectés ont été trouvés entre 900 et 1500 m. Au site de collecte le plus élevé, 2270 m, la seule espèce trouvée était *M. aculeata*. *M. minima* a été rencontrée à toutes les altitudes presque de façon égale.

3. *Medicago aculeata*

Les données de cinq prospections effectuées entre 1983 et 1988 ont été utilisées pour étudier la distribution géographique de *M. aculeata*, l'effet des facteurs du milieu sur la présence de l'espèce ainsi que les fréquences de sa distribution en relation avec ces facteurs. Ces prospections ont couvert des régions agricoles très variées du point de vue des conditions édapho-climatiques.

Les résultats relatifs à l'effet des facteurs du milieu sur la présence de *M. aculeata* au niveau des sites prospectés sont rapportés dans le Tableau 4. La pluviométrie a un effet hautement significatif sur la présence des écotypes de *M. aculeata*. Ainsi, malgré l'existence de l'espèce au niveau des sites à faible pluviométrie (valeur minimale de 200 mm), elle montre une présence plus marquée dans les zones à pluviométrie intermédiaire à élevée.

Concernant la température minimale moyenne du mois le plus froid, *M. aculeata* est rencontrée sur des sites à température hivernale minimale allant de 0 à 8,2°C avec une moyenne de 3,7°C. Toutefois, sa présence est relativement plus importante au niveau des zones à hiver froid. Par contre, aucune différence significative n'a pas été décelée entre la température maximale moyenne du mois le plus chaud des sites où *M. aculeata* est présente (moyenne = 33,5°C) et celle des sites où l'espèce était absente (moyenne = 34,34°C).

Malgré des différences significatives, la présence de *M. aculeata* n'est pas très influencée par le pH du sol. Cette espèce est rencontrée dans une gamme de pH allant de 5,6 à 7,8. La moyenne des sites où cette espèce est présente est de 6,93, soit un pH pratiquement neutre.

Alors que la teneur du sol en phosphore extractible ne semble pas affecter la distribution de *M. aculeata*, la présence de cette espèce est associée à des teneurs élevées en potassium. La teneur moyenne des sites où cette espèce a été collectée est de 459 ppm K₂O.

Par ailleurs, il apparaît que cette espèce est très exigeante eu égard à la texture du sol. La teneur en argile a un effet très hautement significatif sur la présence des écotypes. La teneur moyenne en argile des sites où cette espèce a été collectée est de 31,34% contre seulement 21,35% pour les sites où elle est absente.

Les écotypes de *M. aculeata* sont présents au niveau de toutes les classes d'altitude retenues dans l'étude. La plus grande fréquence est toutefois observée dans la classe 500 à 1000 m avec 41,3% des populations. L'espèce est aussi rencontrée au niveau des altitudes plus élevées avec une fréquence non négligeable (27,4%). L'altitude maximale où des écotypes ont été collectés est de 2270 m.

Tableau 4. **Influence des facteurs édaphiques et climatiques sur la présence ou l'absence de *M. aculeata***. Absence : Moyenne des sites où l'espèce est absente. Présence : Moyenne des sites où l'espèce est présente. Signification : Degré de signification de la différence entre les moyennes de l'absence et de la présence

Facteurs	Absence	Présence	Signification
T min (°C)	4,70	3,70	+++
T max (°C)	34,34	33,58	NS
Pluviométrie (mm)	508,00	602,00	++
pH (KCl)	7,09	6,93	+
Argile (%)	21,35	31,34	+++
P ₂ O ₅ (ppm)	55,76	64,59	NS
K ₂ O (ppm)	354,09	459,10	++

NS: non significative. +: significative. ++: hautement significative. +++: très hautement significative. (Source: Feniche 1993)

ETUDES D'EVALUATION

Plus d'un millier d'écotypes de luzernes annuelles ont été collectés au Maroc durant les dix dernières années. La majorité de ce matériel a fait l'objet d'évaluations agronomiques et physiologiques en serre et/ou au champ. Nous nous limitons ici à citer les principaux résultats des travaux d'évaluation.

1. Luzernes annuelles pour sols alcalins

Les populations marocaines de luzernes annuelles ont montré une très grande variabilité dans leur réponse à la température, au gel, à l'addition de nitrate et au phosphore. Les réponses aux facteurs de l'environnement des populations étaient en relation très étroite avec leur origine géographique. Les tableaux 5, 6 et 7 donnent un exemple de cette variabilité. Dans un essai en serre, les populations de *Medicago truncatula* ont varié énormément dans leur capacité de croissance et de nodulation sur sols acides. L'élévation du pH du sol de 4,5 à 5,4 s'est traduite par l'augmentation de la production de matière sèche et du nombre de nodules formés par plante pour *Cyprus*, M2, M3 et M5 mais pas pour M1 et M4. Pour Zodiac, l'élévation du pH a entraîné une baisse du rendement en matière sèche.

Tableau 5. **Nodules par plante de cinq écotypes de *M. truncatula* produits à cinq concentrations de nitrate**. Les données à l'intérieur des colonnes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes. Les écotypes M1 à M4 étaient collectés sur des sites dont les teneurs en azote total étaient de 0,11 ; 0,24 ; 0,35 et 0,42 respectivement

Traitement (µM NO ₃)	<i>Cyprus</i>	M1	M2	M3	M4
0	11,6a	19,3a	11,0a	6,7a	9,3a
20	8,5ab	14,1bc	6,7a	4,7ab	5,2b
100	8,1ab	16,2ab	7,4a	3,4abc	3,8bc
500	7,9bc	11,8cd	2,4b	2,2bc	2,3bc
1000	4,4c	8,0d	2,6b	0,7c	0,8c

(Source: Bounejmate 1992)

Tableau 6. **Effet du pH du sol sur le rendement relatif en matière sèche (% du rendement maximal) pour sept écotypes de *Medicago***. Les données à l'intérieur des colonnes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes. Les écotypes M1 à M5 étaient collectés sur des sites à pH (KCl) 6,2 ; 6,5 ; 7,0 ; 7,1 et 7,8 respectivement

M3	M4	pH du sol	<i>Cyprus</i>	Zodiac	M1	M2	M5
4,5	58c	100a	100a	89b	72b	100a	87b
4,9	71b	100a	96ab	94ab	90a	91a	100a
5,4	100a	86b	99a	100a	100a	92a	93ab
7,0	63bc	70c	90a	78c	97a	73b	76c

(Source : Bounejmate 1992)

Tableau 7. **Effet du pH du sol sur le nombre de nodules par plante (% du nombre maximum) pour sept écotypes de *Medicago***. Les données à l'intérieur des colonnes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes

pH du sol	<i>Cyprus</i>	Zodiac	M1	M2	M3	M4	M5
4,5	54c	90a	100a	62c	50c	98a	62c
4,9	89a	88a	91ab	88ab	76b	100a	86b
5,4	100a	100a	83b	100a	100a	94a	100a
7,0	77b	88a	57c	84b	78b	73b	96ab

(Source : Bounejmate 1992)

2. Luzernes annuelles pour sols acides

Le matériel issu de la collecte effectuée en 1988 sur sols acides dans les différentes régions du Maroc, plus de 400 populations, a été multiplié et ensuite évalué. Les caractères évalués ont été le poids de mille graines (PMG), la teneur en coumestrol, le rendement en matière sèche, la repousse après coupe, la résistance aux maladies et le rendement en semences.

Comme dans l'étude précédente, l'origine géographique a eu une grande influence sur le comportement des espèces et populations. La longueur des stolons, la hauteur du peuplement, la taille des feuilles et le rendement en matière sèche ont diminué avec l'augmentation de l'altitude et de la pluviométrie du lieu de collecte. La relation la plus étroite existe entre la pluviométrie annuelle et le début de la floraison : des régions à pluviométrie élevée sélectionnent des types à floraison tardive.

Le PMG a varié au total de 1 à 13 g. Des différences nettes apparaissent entre les espèces. *M. aculeata*, avec un PMG moyen de 8,3 g, et *M. tornata* et *M. truncatula* avec un PMG moyen de 3,9 g possèdent respectivement les plus grosses et les plus petites graines. Le PMG a aussi varié à l'intérieur des espèces. *M. polymorpha* a présenté la plus grande amplitude de variation, de 1,8 à 13,0 g. Le PMG des populations de *M. aculeata* a varié entre 4,7 et 13,0g.

Au total, 335 populations ont été analysées pour leur concentration en coumestrol. Celle-ci a atteint en moyenne 115 ppm de la matière sèche mais a varié largement, de moins de 0,04 à 956 ppm. La plupart des populations restent en dessous de la limite considérée dangereuse pour la fertilité (200 ppm de la matière sèche). Les différences entre les concentrations moyennes en coumestrol des espèces n'ont pas été significatives (Tableau 8).

Tableau 8. Teneurs en coumestrol (ppm de la matière sèche des populations de luzernes annuelles autochtones)

Espèces	Minimum	Maximum	Moyenne	Variation
<i>M. aculeata</i>	< 0,04	84,7	39,9	26,9
<i>M. truncatula</i>	6,9	929,8	88,7	141,1
<i>M. murex</i>	6,6	227,5	121,0	72,7
<i>M. polymorpha</i>	2,4	955,7	126,5	182,7
<i>M. tornata</i>	11,0	911,8	132,1	172,4

(Source : Cremer-Bach 1990)

En ce qui concerne le début de floraison, la taille des feuilles, le rendement en matière sèche et le rendement en semences, des différences significatives entre les espèces ont été observées. Lors d'un essai comparant 112 populations sélectionnées et neuf variétés commerciales courantes, 10 populations locales se sont avérées supérieures aux variétés commerciales pour les caractéristiques qui déterminent la qualité.

3. *Medicago aculeata*

Le travail de caractérisation a porté sur 249 populations de *M. aculeata*. Parmi ce matériel, 196 populations sont d'origine marocaine et 21 d'origine inconnue. Les autres proviennent d'Algérie (15), d'Italie (11), d'Espagne (4), du Liban (1) et de Hongrie (1). La caractérisation des populations a été faite selon le descripteur établi par l'I.B.P.G.R. (Descripteurs pour *Medicago annuelles* 1991). Le tableau 9 donne les caractères généraux de l'espèce.

Le matériel végétal constitué par les populations de *M. aculeata* a montré une certaine variabilité. Ceci a été observé en particulier au niveau des deux variables qualitatives : taille des feuilles et importance des épines de la gousse. Quant aux variables quantitatives, la diversité "relative" la plus marquée concerne le nombre de fleurs et de gousses par inflorescence, le nombre moyen de semences par gousse, le poids de semences et le poids moyen de la gousse.

Un nombre non négligeable de populations présente des gousses relativement lourdes, dépourvues d'épines ou peu épineuses avec des poids élevés de semences.

Un autre groupe de populations montre des caractéristiques intéressantes, telles que : une floraison plus tardive et un nombre plus élevé de fleurs et de gousses par inflorescence. Les feuilles sont, cependant, plus petites et le nombre de semences par gousse est faible.

Tableau 9. Récapitulatif des principaux caractères agromorphologiques chez *M. aculeata*

Port de la plante	Prostré à semi-érigé
Forme de la feuille	obovale
Taille de la feuille	moyenne à grande
La floraison	Précoce (< 90 jours)
Nombre moyen de fleurs par inflorescence	2 à 3
Nombre moyen de gousse par inflorescence	1 à 2
émergence et forme de la jeune gousse verte	Spires serrées
Sens d'enroulement de la gousse	les deux sens
Nombre de spires de la gousse	7 à 8
Pilosité de la gousse	Eparse (70%)
Forme de la gousse	Ovoïde à sphérique
Taille des épines de la gousse	Légers picots à courtes
Poids d'une gousse	Entre 0.1 et 0.3 (g)
Couleur de la graine	Jaune à brun jaunâtre
Forme de la graine	Réniforme
Poids de mille graines	7 à 10 (g)
Nombre moyen de semences/gousse	6 à 7
Poids de semences/Poids des gousses	20 à 40%

(Source : Feniche 1993)

4. *Rhizobium*

Sélection de *Rhizobium meliloti* pour pH faible au laboratoire

Un total de 187 isolats de *Rhizobium meliloti* ont été isolés à partir des nodules collectés. L'ensemble de ces isolats ont fait l'objet d'un test d'acido-tolérance. Le pourcentage des isolats ayant une croissance normale a été de 100% à pH 6,5, de 97% à pH 6,0, de 50% à pH 5,5 et de 31% à pH 5,3. Les 58 isolats qui ont une croissance normale à pH 5,3 ont servi de matériel de base pour les essais et les tests ultérieurs.

Ces isolats sont originaires de sols dont le pH ne dépasse pas 6,6. Les isolats de *Rhizobium* isolés des sols acides montrent en général une tolérance beaucoup plus élevée que ceux originaires des sols basiques malgré l'existence d'une grande variabilité entre les souches issues du même site.

Test d'infection en tube à essai

Le test d'infektivité, d'efficacité et de spécificité des 58 isolats de *Rhizobium meliloti* vis-à-vis de la plante-hôte a montré que seules 24 souches ont pu induire efficacement la nodulation chez les 4 espèces de *Medicago* étudiées. Le nombre de souches infectieuses et efficaces a été de 19 pour *M. tornata*, de 12 pour *M. truncatula*, de 7 pour *M. polymorpha* et d'une seule pour *M. murex*. L'efficacité des souches a été très variable selon l'espèce.

Réponse de 4 espèces de *Medicago* annuelles à l'inoculation par des souches de *Rhizobium meliloti* dans un essai en serre

La réponse des 4 espèces de *Medicago* à l'inoculation par les 24 souches de *Rhizobium* sélectionnées auparavant a été étudiée en serre en utilisant 3 types de sols différant par le pH, la teneur en matière organique, le rapport C/n et la teneur en éléments nutritifs. Dans le cas de *M. tornata*, les souches prises individuellement diffèrent dans leurs efficacité en fonction du sol. Cette observation est valable en particulier pour le nombre de nodules dans le sol 3 caractérisé par le pH le plus bas et une faible teneur en éléments minéraux.

L'inoculation a permis une augmentation importante de la matière sèche et plus particulièrement chez *M. tornata* où cette augmentation était supérieure à 100% dans le sol 1. Dans le sol 2, on constate une augmentation de 50%, alors que dans le sol 3, elle n'est que de 10% (Tableau 10). Toutefois les trois autres *Medicago* montrent une augmentation moins importante. *M. murex* a réagi positivement à l'inoculation dans tous les sols, mais cette réponse est non significative.

Tableau 10. Augmentation de la matière sèche des parties aériennes des plantes en% du témoin (T)

Sols	<i>M. tornata</i>	<i>M. truncatula</i>	<i>M. polymorpha</i>	<i>M. murex</i>
En moyenne de toutes les souches				
	206	72	110	111
	155	122	107	116
	110	61	68	120
En moyenne des souches efficaces seulement				
	210	117	110	111
	155	125	107	116
	114	114	104	120

(Source : Thami-Alami 1994b)

Ces efforts d'évaluation ont abouti à la sélection de 6 génotypes de *Medicago* spp. annuelles dont 2 appartiennent à *M. polymorpha*, et un chacun à *M. truncatula*, *M. aculeata*, *M. orbicularis* et *M. tornata*. Ces génotypes sont testés pour l'inscription en cours au Catalogue Officiel. Concernant *Rhizobium meliloti*, le travail a permis de sélectionner 24 souches présentant une forte capacité de nodulation en conditions acides.

DISCUSSION

Etendue de l'érosion génétique des espèces annuelles du genre *Medicago*

Les résultats des récentes prospections effectuées au Maroc pour la collecte des espèces annuelles du genre *Medicago* suggèrent que de l'érosion génétique est en train de se produire. Alors que dix huit espèces annuelles du genre *Medicago* ont été décrites dans les études de Nègre (1956 ; 1959), aucune des études postérieures n'a rapporté autant d'espèces, le maximum étant de quatorze espèces (Bounejmate 1992). Ceci suggère que certaines espèces ont disparu ou sont devenues très rares. C'est le cas notamment de *M. rigidula*, *M. rotata*, *M. secundiflora* et de l'espèce endémique *M. sauvagei*. Le rendement en semences obtenu pour les différentes espèces annuelles du genre *Medicago* est un autre indicateur de l'érosion génétique chez ces espèces. Les espèces épineuses et/ou à petites gousses moins accessibles aux dents des animaux en pâturage ont été les plus abondantes. Par exemple, *Medicago scutellata* qui possède des gousses grosses et non épineuses a donné les rendements les plus faibles alors que *Medicago laciniata* à gousses petites et épineuses était la plus abondante.

Aire de répartition des luzernes annuelles

M. polymorpha, bien que rare dans les régions à pluviométrie inférieure à 300 mm et sur sols sableux, est l'espèce la plus répandue. Elle est donc très prometteuse, d'autant plus qu'elle se régénère très bien dans les systèmes où la fréquence des cultures est élevée (Francis, 1987). Malheureusement, tous les écotypes marocains collectés ont des gousses épineuses, ce qui limite son utilisation à court terme. *M. scutellata*, rencontrée dans les régions bien arrosées, sur des sols à texture fine et riches en phosphore, ne devra avoir qu'une priorité secondaire, en raison de sa rareté et de sa faible abondance. Un autre résultat important réside dans le fait que *M. truncatula* a été trouvée dans des conditions édapho-climatiques beaucoup plus variées que celles précédemment considérées.

Certaines espèces de luzernes annuelles sont rencontrées dans des conditions écologiques difficiles. *M. tornata* et *M. murex* qui occupent des sites avec des pH, des teneurs en phosphore, en calcium et en argile plus faibles que ceux des autres espèces peuvent jouer un rôle important dans la mise en valeur des sols peu fertiles.

L'adaptation des espèces non encore commerciales mérite d'être discutée. *M. aculeata* est très fréquente et est l'espèce la plus répandue dans les régions à hiver froid. Cette espèce, associée avec des sols fertiles, possède plusieurs écotypes à gousses non épineuses, et a donc certainement une niche. Bien que possédant des gousses larges plus facilement accessibles aux dents des animaux, le géotropisme positif des pédoncules peut jouer un rôle important pour la persistance de l'espèce. *M. orbicularis* occupe des sites similaires à ceux occupés par *M. aculeata* mais est aussi trouvée sur des sols superficiels dans des zones moins arrosées. En raison de son adaptation aux basses températures, aux pluviométries faibles, et de son pourcentage très élevé de graines dures (Crawford, 1976), cette espèce mérite une plus grande attention dans les programmes de sélection. *M. intertexta* est une espèce adaptée aux zones bien arrosées à climat doux, persiste mieux que la majorité des autres espèces sur sols hydromorphes (Francis and Poole, 1973) et salés (Greenway and Andrew, 1962), et peut donc être très utile dans ces conditions. *M. laciniata* est une espèce très prometteuse pour les zones les moins arrosées. En effet, cette espèce montre une capacité de persistance exceptionnelle sous des conditions difficiles et est trouvée sur des sols superficiels dans des zones de très faible pluviométrie (Gintzburger and Blesing, 1979). *M. laciniata* peut être particulièrement utile pour l'amélioration des parcours en zones arides ou utilisée en rotation avec l'orge dans ces régions afin d'augmenter la productivité et la stabilité des systèmes.

Des possibilités énormes existent pour étendre l'aire de culture des luzernes annuelles, et ce, à travers le développement de cultivars appartenant à plusieurs espèces. Toutefois, et outre le facteur variétal, d'autres contraintes techniques et socio-économiques freinent l'adoption du système ley-farming dans la région méditerranéenne (Riveros *et al.*, 1989). L'extension du système ley-farming dépendra en définitive des efforts entrepris pour surmonter ces contraintes.

Relation entre l'origine géographique et la réponse aux facteurs édaphiques et climatiques

L'ensemble des études examinées montrent l'existence d'une relation nette entre les réponses des divers écotypes aux facteurs édaphiques et climatiques et leur origine géographique. La nodulation en présence de nitrate, la réponse au phosphore, à la température et la réaction au gel sont corrélées respectivement à la teneur en azote, en phosphore et à la température hivernale du site de récolte. Des résultats similaires ont été obtenus par Burt *et al.* (1979, 1980), Cocks and Ehrman (1987), et Ehrman and Cocks (1990).

L'effet majeur de l'origine géographique sur les réactions des écotypes de *Medicago* aux facteurs souligne l'importance de sélectionner pour une région donnée, des cultivars parmi des éco-types issus de régions ayant les mêmes conditions édapho-climatiques. Ceci évitera une perte d'efforts humains et matériels nécessaires pour tester un grand nombre d'écotypes non appropriés pour les besoins immédiats.

REFERENCES

- Bounejmate, M. (1992). Soil and climatic factors affecting the natural distribution of annual *Medicago* species in Morocco. Ph.D. thesis, The University of Western Australia.
- Bounejmate, M. (1994). Contribution of the National Institute for Agricultural Research to the conservation of plant genetic resources in Morocco. *Al Awamia* 87, 33-53.
- Burt, R.L., Isbell, R.F., and Williams, W.T. (1979). Strategy of evaluation of a collection of tropical herbaceous legumes from Brazil and Venezuela. I. Ecological evaluation at the point of collection. *Agro-Ecosystems* 5, 99-117.
- Burt, R.L., Pengelley, B.C., and Williams, W.T. (1980). Strategy of evaluation of a collection of tropical herbaceous legumes from Brazil and Venezuela. III. The elucidation of plant/soil/climate relationships. *Agro-Ecosystems* 6, 119-27.
- Cocks, P.S., and Ehrman, T.A.M. (1987). The geographic origin of frost tolerance in Syrian pasture legumes. *J. Appl. Ecol.* 24, 678-83.
- Cocks, P.S., Mathison, M.J., and Grawford, E.J. (1980). From wild plants to pasture cultivars: annual medics and subterranean clovers in southern Australia. In "Advances in Legume Science". (Eds. R.J. Summerfield and A.H. Bunting) pp. 569-96. (Ministry of Agriculture and Fisheries, London).
- Crawford, E.J. (1976). The search for permeable seed of the genus. *Aust. Seed Sci. Newsletter* 2, 21-4.
- Cremer-Bach, M. (1990). Sélection des écotypes locaux de *Medicago* spp. annuelles pour sols acides au Maroc. *Al Awamia* 74, 12-18.
- Cremer-Bach, M. (1992). Verbreitung und Eigenschaften annualer *Medicago spec.* - Ökotypen in Marokko. Thèse de Doctorat, Gießen.
- Ehrman, T.A.M., and Cocks, P.S. (1990). Ecogeography of annual legumes in Syria: Distribution patterns. *J. Appl. Ecol.* 27, 578-91.

- Feniche, F.A. (1993). Distribution naturelle et caractérisation agromorphologique des populations locales de *Medicago aculeata* au Maroc. Mémoire de 3ème cycle de l'IAV Hassan II, Rabat.
- Francis, C.M. (1987). Morocco, a plant collection tour. A report compiled for the Grain Research Committee of Western Australia, Western Australian Department of Agriculture, Perth.
- Francis, C.M., and Poole, M.L. (1973). Effect of water-logging on the growth of annual *Medicago* species. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 13, 711-3.
- Gintzburger, G., and Blesing, L. (1979). Genetic conservation in Libya. Part III: Indigenous forage legumes in northern Libya. Distribution and ecology of *Medicago* spp. FAO ARC Acc. No. 235/79 (FAO, Rome).
- Greenway, H., and Andrew, W.D. (1962). A screening technique to predict field behaviour of medics on saline soils. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 2, 234-5.
- Heyn, C.C. (1963). The annual species of *Medicago*. *Scripta Hierosolymitana* 12, 1-154. (Magna Press: Jerusalem).
- Nègre, R. (1956). Les luzernes du Maroc. Travaux de L'Institut Scientifique Chérifien, Série Botanique 5. 119p. (Institut Scientifique Chérifien, Rabat).
- Nègre, R. (1959). Révision des *Medicago* d'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société D'Histoire Naturelle D'Afrique du Nord* 50, 267-314.
- Riveros, F., Crespo, D., and Ben Ali, M.N. (1993). Constraints to introducing the Ley Farming System in the Mediterranean Basin. In 'introducing Ley Farming to the Mediterranean basin'. (S. Christiansen, L. Materon, M. Falcinelli & P.S. Cocks, eds.). PP 15-22. Proceedings of a Workshop held on June 1989, Perugia, Italy. (ICARDA, Aleppo, Syria).
- Thami Alami, I. (1994a). Prospektion, Selektion sowie Prüfung auf Effektivität von säuretoleranten *Rhizobium meliloti*-Stämmen für den Anbau von annualen *Medicago*-Arten auf sauren und schwach sauren Böden in Marokko. - Thèse de doctorat, Universität Gießen. Allemagne.
- Thami Alami, I. (1994b). Sélection de souches de *Rhizobium meliloti* tolérantes à l'acidité des sols pour la culture de *Medicago* spp. *Al Awamia* 87, 77-92.
- Trumble, H. C., and Donald, C.M. (1938). Soil factors in relation to the distribution of subterranean clover and some alternative legumes. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 4, 206-8.