

# L'INTRODUCTION DE *TRIFOLIUM SUBTERRANEUM* L. EN PRAIRIE PERMANENTE DANS LA REGION DU MOYEN-ATLAS AU MAROC

C. BÄTKE\*

TABLE DES MATIERES	Page
Résumé	129
Introduction	131
Matériel et méthodes	132
Résultats	138
Choix de variétés	138
Fertilisation	144
Inoculation	150
Discussion	152
Choix de variétés	152
Tolérance au gel	153
Acidité du sol	154
Fertilisation	155
Inoculation	157
Conclusion	157
Remerciements	158
Références bibliographiques	158

## RESUME

L'aptitude de la légumineuse pastorale *Trifolium subterraneum* L. de servir à l'installation de prairies permanentes dans le Moyen-Atlas a été précisée à Sidi Aïssa, Oulmès, Had Mimoun et Had Ghoualem. Dans des essais de comportement et des essais variétaux, la variété australienne Clare a montré une adaptation remarquable dans les sites à pluviométrie élevée et les sols acides; elle a néanmoins été surpassée par plusieurs écotypes marocains en voie de sélection pour la création de nouveaux cultivars. Malgré une croissance réduite du trèfle durant les hivers froids en zone d'altitude, des rendements totaux de 5 à 7 t MS/ha ont été obtenus en années favorables.

Par analyses pédologiques et essais de fertilisation, les besoins du trèfle en macro- et micro-éléments ont été identifiés. En plus d'un déficit général en phosphate, on a mis en évidence l'importance de K et Mg à Had Ghou-

---

\* Programme Fourrages/INRA, B.P. 415, Rabat

lem, ainsi que du Mo et d'un chaulage dans les sols acides d'Oulmès. Dans tous les sites, l'inoculation des semences de trèfle n'a pas été nécessaire pour obtenir une nodulation satisfaisante.

Les résultats montrent que *Trifolium subterraneum* L. peut contribuer à l'amélioration de la productivité des prairies dans le Moyen-Atlas, au profit de l'élevage ovin et de la lutte contre l'érosion des sols en pente.

**MOTS CLES:** *Trifolium subterraneum* L., Moyen-Atlas, tolérance au gel, prairies permanentes.

## SUMMARY

The potential and limits of pasture improvement with *Trifolium subterraneum* L. were investigated in the Middle Atlas of Morocco in Sidi Aissa, Oulmès, Had Mimoun and Had Ghoualem. Best suited cultivars were identified in adaptation and variety trials, where some marocain ecotypes, selected for good winter growth, showed high potential, outgrowing the remarkably well adapted australian cultivar Clare. Despite reduced growth during cold winter season on high altitude sites average total dry matter yields of 5 to 7 t/ha were obtained in good years.

The subclovers needs for macro- and micro-elements were identified by soil analysis and fertilization trials. Besides a general phosphat deficit the need for K and Mg in Had Ghoualem as well as Mo and lime in the acid Oulmès soil became evident.

On all sites seed inoculation with appropriate rhizobia proved to be not necessary to obtain good nodulation.

The results show that *Trifolium subterraneum* L. can contribute to improve pasture production in the Middle Atlas for the benefit of sheep production and soil conservation.

**KEY WORDS:** *Trifolium subterraneum* L., Middle-Atlas, frost tolerance, permanent pasture.

## INTRODUCTION

Le pâturage des parcours, des jachères et des forêts constitue les principales ressources fourragères de l'élevage ovin dans le Moyen-Atlas au Maroc. La végétation annuelle sur ces sites est peu productive et pauvre en protéine par manque de phosphate et de fertilisation azotée. Par conséquent, la productivité de l'élevage ovin traditionnellement très répandu dans la région reste faible.

Les conditions édapho-climatiques du Moyen-Atlas permettent pourtant de mieux exploiter le potentiel de production fourragère de cette région, tout en diminuant l'érosion du sol. Bätke (1992) a démontré que la végétation spontanée des jachères peut devenir, moyennant une fertilisation azotée et le contrôle des mauvaises herbes, une source de fourrage de bonne qualité, grâce à des proportions élevées de *Lolium rigidum* et d'*Avena sterilis*.

En altitude moyenne, les champs de céréales sur pente, exposés à l'érosion, se prêtent aussi à l'installation de prairies permanentes à base de légumineuses pastorales. *Trifolium subterraneum* L. semble être la légumineuse pastorale la mieux adaptée pour créer ces prairies, étant donné sa tolérance relative au gel, à l'acidité du sol et sa forte résistance au pâturage. Le succès d'une telle mesure est toutefois conditionné par une réglementation adéquate de la gestion des prairies.

L'importance du trèfle souterrain dans les systèmes agro-pastoraux en Australie et dans les pays méditerranéens est amplement documentée (Collins *et al.* 1984, Jaritz 1991, Osman *et al.* 1990). Bien qu'une température minimale moyenne de 2-4°C soit considérée comme sa limite inférieure, on rencontre des populations de *T. subterraneum* L. dans l'aire de distribution naturelle méditerranéenne, à des températures nettement inférieures (Katznelson 1974, Matthäus 1992).

Afin d'étudier les possibilités et les limites du trèfle souterrain pour le semis de prairies permanentes au Moyen-Atlas, des essais pluriannuels ont été effectués sur différents sites dans le cadre du projet 'Culture de Plantes Fourragères' de la coopération technique entre l'INRA/Maroc et la Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/Allemagne. Les résultats les plus importants de ces essais réalisés entre 1984 et 1992 sont résumés dans le présent article.

## MATERIEL ET METHODES

Les facteurs édapho-climatiques des différents sites expérimentaux sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractérisation des sites expérimentaux.

Site	Altitude (m)	Pluie <sup>1)</sup> (mm)	Températures <sup>2)</sup>		Sol
			M	m	
Had Aït Mi-moun	400	450	34,8	4,2	sablo-limoneux profond (pH <sub>KCl</sub> 5,3 - 5,8)
Had Ghoualem	600	371	35,6	-3,5	ranker granitique, fortement érodé, (pH <sub>KCl</sub> 4,5 - 5,5)
Oulmès	1260	674	31,8	2,4	limono-argileux sur schiste érodé, (pH <sub>KCl</sub> 4,0-5,2)
Sidi Aïssa	1200	584*	30,4*	1,6*	régosols argileux et sols fersiallitiques (pH <sub>KCl</sub> 6,3-7,2)

1) Moyenne de 1985 à 1991

2) Moyenne de longue durée

\* A défaut de relevés à Sidi Aïssa, les données proviennent de la station météorologique d'El Hajeb, à 10 km de distance. Le site de Sidi Aïssa est plus froid que celui d'El Hajeb.

Les sites d'altitude se caractérisent par des gels occasionnels, à Oulmès et à Sidi Aïssa on note également quelques jours de neige. Les plus basses températures ont été enregistrées en janvier '89; à savoir: -9,5°C à Sidi Aïssa, -6,5°C à Oulmès et -4,0°C à Had Ghoualem.

## Fertilisation

Les essais où la fertilisation phosphatée n'a pas été un facteur à étudier, ont été fertilisés avec supertriplephosphate à raison de 50 à 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. L'approvisionnement en potasse a été amélioré avec 40-60 kg K<sub>2</sub>O/ha, sous forme de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou KCl.

Dans quelques essais réalisés à Oulmès, le pH du sol a été relevé par chaulage: le carbonate de calcium (600-1200 kg CaO/ha) a été réparti régulièrement sur la parcelle expérimentale et ensuite incorporé par covercrops.

Dans des essais en pots effectués en serre avec le sol d'Oulmès et de Had Ghoualem, les divers engrais ont été incorporés dans le sol préalablement moulus ou dissous dans l'eau (cf. description de l'essai concerné).

## Labour du sol

Pour l'installation des essais au champ, le lit de semences a été préparé par covercrogage après les premières pluies, suivi d'un hersage et d'un nivellement manuel par râteau.

## Semis

Les essais ont été semés par semoir de précision ou à la volée ou manuellement en lignes, et ensuite recouverts par ratissage ou piétinement. Afin d'atteindre des densités d'installation fortes dès la 1<sup>ère</sup> année de l'essai, on a utilisé des densités de semis de 30 à 50 kg/ha.

En plus des semences commerciales australiennes, ont été utilisées des semences d'origine diverse, multipliées par nos soins. L'adaptation aux sites expérimentaux de 17 variétés commerciales australiennes et espagnoles ainsi que de 5 génotypes portugais, 10 génotypes tunisiens et 10 génotypes marocains a été étudiée dans des essais de comportement (tableaux 2 et 3).

Les variétés commerciales jugées favorablement dans des essais de comportement préalables ont été étudiées de plus près, en comparaison avec différents génotypes d'origine tunisienne et marocaine, à Sidi Aissa pour leur tolérance au gel et à Oulmès pour leur tolérance à l'acidité du sol.

Des échantillons des variétés et écotypes testés ont été stockés dans l'Unité de Stockage de Semences du Programme Fourrages à Rabat-Guich.

## Dispositifs expérimentaux

- Essais de comportement: semis en lignes (manuellement), 2 lignes par écotype de 5 m de long et 20 cm d'écart entre les 2 lignes et 40 cm entre les écotypes.
- Essais variétaux: semis en lignes avec semoir de précision, 6 lignes de 6,40 m de long et 20 cm d'écart, en lattis à 3 répétitions (pour nombre écotypes à tester > 24) ou en bloc randomisé avec 4 répétitions (n < 19).
- Essais fertilisation ou inoculation: semis à la volée sur parcelles élémentaires entre 2 x 5 et 4 x 10 m en bloc randomisé (essai 1-factoriel) ou split-plot (essai 2-factoriel) avec 4 ou 5 répétitions.
- Essais en pots: en split-plot (essai 2-factoriel) ou en bloc randomisé (essai 1-factoriel) avec 5 répétitions.
- Essais de démonstration: semis en grande parcelle entre 1.500 m<sup>2</sup> et 1 ha sans répétition, semé à la volée avec tracteur et semoir sans socs.

Tableau 2: Variétés commerciales de *Trifolium subterraneum* L. testées dans des essais de comportement au Moyen-Atlas.

Variété	Origine*	S.Aïssa	Oulmès	H.Ghoualem	H.Mimoun
BACCHUS M.	A	x	x	-	-
CLARE	A	x	x	x	x
DALIAK	A	-	-	x	-
DALKEITH	A	x	x	x	x
DINIS	A	x	-	-	-
GREENRANGE	A	x	x	-	-
HOWARD	A	x	-	-	-
JUNEE	A	x	x	-	-
KARRIDALE	A	x	x	-	-
LARISSA	A	x	x	-	-
METEORA	A	-	x	-	-
NORTHAM	A	x	-	x	-
NUBA	A	x	x	x	-
NUNGARIN	A	x	-	x	x
SEATON PARK	A	-	x	x	x
TRIKKALA	A	x	x	-	-
VINHAI	A	x	-	-	-
WOOGENLOOP	A	x	-	x	-
YARLOOP	A	x	x	-	-
CRATO	E	x	x	-	-
ROMAO	E	x	x	-	-
SANCHO	E	x	x	-	-

\* A = Australie, E = Espagne

Tableau 3: Ecotypes de *Trifolium subterraneum* L. testés dans des essais de comportement au Moyen-Atlas.

Ecotype	Origine*	S.Aissa	Oulmès	H.Ghoualem	H.Mimoun
LO 11	P	x	x	-	-
LO 274	P	x	x	-	-
LO 708	P	x	x	-	-
LO 710	P	x	x	-	-
LO 1252	P	x	x	-	-
TU 41A	T	x	x	-	-
TU 43F	T	x	x	-	-
TU 44B	T	x	x	-	-
TU 45A	T	x	x	-	-
TU 45B	T	x	x	-	-
TU 45C	T	x	x	-	-
TU 46A	T	x	x	-	-
TU 46B	T	x	x	-	-
TU 49A	T	x	x	-	-
TU 49B	T	x	x	-	-
GR 301	M	x	x	-	-
GR 316	M	x	x	-	-
GR 434	M	x	x	-	-
GR 435	M	x	x	-	-
GR 448	M	x	x	-	-
GR 450	M	x	x	-	-
GR 494	M	x	x	-	-
GR 519	M	x	x	-	-
GR 565	M	x	x	-	-
GR 567	M	x	x	-	-

\* P = Portugal, T = Tunisie, M = Maroc (collection de Graves)

## Relevés et récolte

La densité d'installation (plantules/m<sup>2</sup>), le rendement en MS avec 1 à 3 coupes et le rendement en semences ont été déterminés dans des cadres de 30 x 40 cm. La teneur en MS du matériel récolté a été établie après séchage des échantillons pendant 48 h à 105° C. Le recouvrement du sol par le trèfle au printemps a été estimé dans des cadres jetés au hasard au nombre de 6 en petites parcelles et de 15/ha en grandes parcelles.

Dans un essai variétal de tolérance au gel, réalisé à Sidi Aissa, des superficies d'environ 40 x 60 cm ont été marquées et continuellement désherbées. Les plantes de trèfle installées à l'intérieur de ces surfaces ont été observées au cours de l'hiver et comptées à plusieurs reprises; afin de préciser les pertes dues au gel.

Tableau 4: Essais effectués en vue de l'introduction de *Trifolium subterraneum* L. en Moyen-Atlas.

Oulmès	Sidi Aïssa et Had Aït Mimoun (HM)	Had Ghoualem
<p>1987/88:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de comportement de T. subtt. (32 variétés et écotypes)</li> <li>- Essai de fertilisation Ca/P d'une prairie à base de T. subtt. (1ère an.)</li> </ul> <p>1988/89:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de comportement de T. subtt. (réinstallation de l'essai de 87/88)</li> <li>- Essai de comportement de T. subtt. (42 variétés et écotypes)</li> <li>- Essai de fertilisation Ca/P d'une prairie à base de T. subtt. (2ème an.)</li> <li>- Essai variétal de T. subtt. concernant la tolérance au sol acide (1ère an.)</li> <li>- Essai d'inoculation de T. subtt. (1ère année)</li> <li>- Essai de fertilisation Mo et Ca de T. subtt. en pots</li> </ul>	<p>1987/88:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de comportement de T. subtt. (32 variétés et écotypes)</li> </ul> <p>1988/89:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de comportement de T. subtt. (réinstallation de l'essai de 87/88)</li> <li>- Essai de comportement de T. subtt. (44 variétés et écotypes)</li> <li>- Essai variétal de T. subtt. concernant la tolérance au gel (1ère année)</li> </ul> <p>1988/89 (HM):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal en grandes parcelles sous exploitation par pâturage avec 4 variétés australiennes</li> </ul>	<p>1984/85:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de fertilisation NPK de différentes plantes fourragères</li> </ul> <p>1985/86:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de chaulage et inoculation de différentes légumineuses</li> </ul> <p>1986/87:</p> <p>Pas de résultats pour cause de sécheresse</p> <p>1987/88:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal de différentes plantes fourragères</li> <li>- Essai d'inoculation et de chaulage de T. subtt. et Medicago spp.</li> <li>- Essai de fertilisation de T. subtt.</li> </ul> <p>- Essai de chaulage et inoculation de</p>

suite .../...

Tableau 4 (suite):

Oulmès	Sidi Aïssa et Had Aït Mimoun (HM)	Had Ghoualem
<p>1989/90:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de comportement de T. subt. (réinstallation de l'essai de 88/89)</li> <li>- Essai de comportement de T. subt. et autres trèfles</li> <li>- Essai de fertilisation Ca/P d'une prairie à base de T. subt. (3ème an.)</li> <li>- Essai variétal de T. subt. concernant la tolérance au sol acide (2ème an.)</li> <li>- Essai d'inoculation de T. subt. (2ème année)</li> <li>- Essai de fertilisation Mo et Ca au champ (1ère année)</li> </ul> <p>1990/91:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programme de sélection de T. subt. d'écotypes marocains (64 écotypes)</li> <li>- Essai de fertilisation Ca/P d'une prairie à base de T. subt. (4ème an.)</li> <li>- Essai variétal de T. subt. concernant la tolérance au sol acide (3ème an.)</li> <li>- Essai de fertilisation Mo et Ca au champ (2ème année)</li> </ul>	<p>1989/90:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de comportement de T. subt. (réinstallation de 44 variétés et écotypes)</li> <li>- Essai variétal de T. subt. concernant la tolérance au gel (2ème année)</li> </ul> <p>1989/90 (HM):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal en grandes parcelles (2ème année)</li> </ul> <p>1990/91:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal de T. subt. concernant la tolérance au gel (3ème année)</li> </ul> <p>1990/91 (HM):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal en grandes parcelles (3ème année)</li> </ul> <p>1991/92 (HM):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal en grandes parcelles (4ème année)</li> </ul>	<p>1988/89:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai de fertilisation NPKCa pour la production de semences de T. subt.</li> <li>- Installation de prairies à base de T. subt. au niveau de l'exploitation</li> </ul> <p>1989/90:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal de 6 variétés de T. subt. sous pâturage permanent en grandes parcelles (1ère année)</li> <li>- Essai de fertilisation de T. subt. avec oligo-éléments en pots</li> </ul> <p>1990/91:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal sous pâturage permanent (2ème année)</li> <li>- Essai de fertilisation P x Mg de T. subt. (1ère année)</li> </ul> <p>1991/92:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essai variétal sous pâturage permanent (3ème année)</li> <li>- Essai de fertilisation P x Mg (2ème année)</li> </ul>

Le tableau 4 donne un aperçu des essais, réalisés par différents chercheurs, en rapport avec les différents thèmes. Des détails sur le dispositif expérimental et la méthodologie sont contenus dans les rapports annuels du Programme Fourrages (INRA/GTZ 1985 à 1992).

## RESULTATS

### Choix de variétés

A Sidi Aissa et Oulmès, ce sont la variété australienne Clare et les variétés espagnoles Crato, Romao et Sancho ainsi que les écotypes d'origine portugaise LO 11 et LO 708, tunisienne TU 46 B et TU 49 B et marocaine GR 301, GR 435 et GR 448 (de la collecte de W. Graves) qui, du point de vue croissance hivernale, tolérance au sol acide et tolérance au gel, se sont montrés les mieux adaptés dans des essais de comportement.

En vue de développer de nouvelles variétés, à partir des écotypes marocains, un programme de sélection de l'INRA a été initié en 1987. Sur un ensemble de 800 plantes individuelles, collectées dans différentes régions, des écotypes vigoureux, résistants au pâturage, à semences dures et à faible teneur en phytoestrogène ont été sélectionnés (Matthäus 1992). Actuellement (1993), 15 types font encore l'objet d'études quant à leur rendement en MS et en semences sous différentes intensités de pâturage. Ce programme se terminera en 1995 par la proposition de 3 à 5 variétés pour l'inscription au catalogue officiel (voir aussi page 141).

### Tolérance au gel

Dans un essai variétal de trois années, effectué à Sidi Aissa avec 8 variétés et écotypes de trèfle souterrain, les plantules installées, marquées de façon durable, ont été démariées, de sorte que chaque plante fût bien visible et distante du voisin de quelques centimètres. Le nombre des plantules vivantes a été compté à plusieurs reprises entre le 17/01 et le 10/03/89, après les semaines les plus froides de l'hiver, lorsque les plantes étaient au stade rosettes (diamètre 3-5 cm).

Pendant ces 52 jours, on a enregistré 39 nuits de gel où la température minimale a atteint  $-9,5^{\circ}\text{C}$ . Non protégées par des mauvaises herbes, les plantules démarrées ont certainement été plus exposées aux basses températures que dans un peuplement dense.

Malgré cette exposition au gel intense, la mortalité des plantules n'a pas dépassé 20,6 % dans l'année de semis pour la variété australienne Clare qui est la plus sensible. Le tableau 5 montre qu'au cours des deux années de réinstallation, les taux de mortalité n'ont pas dépassé 12 %, sans différences variétales significatives; grâce à un développement plus précoce des plantes et des gels moins prononcés en hiver.

Tableau 5: Taux de mortalité hivernale de *Trifolium subterraneum* L. à Sidi Aissa.

Variété/ écotype	Origine	Taux de mortalité hivernale en % des plantules installées		
		1989 ( $-9,5^{\circ}\text{C}$ )*	1990 ( $-4,2^{\circ}\text{C}$ )	1991 ( $-5,3^{\circ}\text{C}$ )
Clare	Australie	20,6 a	1,1	7,2
Romao	Espagne	12,3 ab	1,9	3,3
Sancho	Espagne	8,0 b	1,8	3,7
LO 11	Portugal	8,3 b	1,3	4,8
LO 708	Portugal	6,4 b	4,8	3,3
GR 301	Maroc	10,8 b	0,5	10,6
GR 435	Maroc	4,5 b	1,1	5,8
GR 448	Maroc	11,4 ab	5,6	9,4
PPDS (5 %)		9,2	n.s.	n.s.**

\* Température minimale absolue enregistrée durant la période d'observation

\*\*Suite à la longue période sèche, le gel et le stress hydrique ont exercé un effet combiné sur les plantes qui a induit une erreur expérimentale élevée.

Quelques écotypes espagnols, portugais et marocains ont montré tendanciellement les taux de mortalité les plus bas, mais même la variété Clare s'est montrée suffisamment résistante au gel pour être préconisée dans des semis pastoraux.

En moyenne de trois années d'expérimentation, Romao et LO 708 ont produit le meilleur rendement en MS (une seule coupe début mai) et en semences (figure 1). La moyenne de l'essai qui a été de plus de 5 t MS/ha et de 218 kg semences/ha, prouve que le trèfle souterrain possède dans cette région à hiver froid un potentiel de production considérable.

Durant toute la période expérimentale (1985 à 1991), n'ont jamais été observés dans les trois sites expérimentaux des dégâts plus importants causés par le gel que dans cet essai de tolérance au gel à Sidi Aissa.

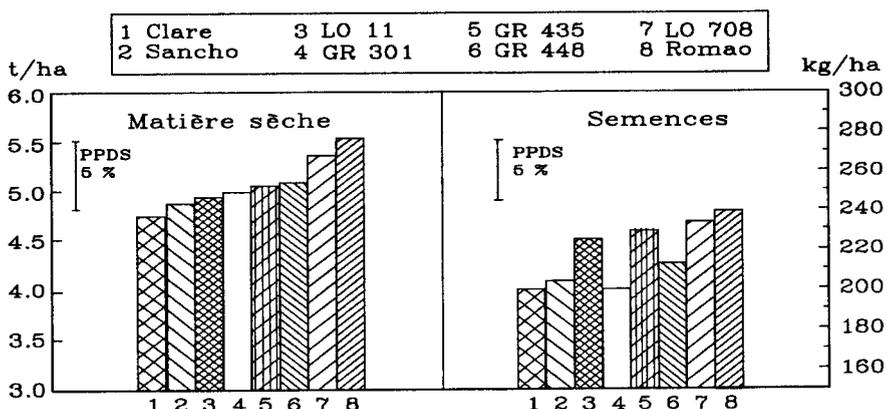


Fig. 1: Rendement en MS et en semences de *Trifolium subterraneum* L. à Sidi Aissa (en moyenne de trois années d'expérimentation).

## 1.2. Tolérance à l'acidité du sol

Dans un essai variétal de 3 années réalisé avec 8 variétés et écotypes, sur un sol acide d'Oulmès, ont été également testés des sujets auparavant prometteurs dans des essais de comportement. Le sol avait un  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  de 4,4 et une teneur de 20,4 ppm  $\text{Al}^{3+}$  échangeable.

Le développement de toutes les variétés est resté chaque année tellement faible qu'il était impossible d'effectuer des coupes de rendement. Toutes les variétés présentaient une croissance réduite, des décolorations foliaires chlorotiques, des feuilles à bords desséchés et une mauvaise formation de semences. LO 11, Crato et Sancho ont été les variétés les moins endommagées. Dans ces conditions difficiles, TU 49 B a produit le plus de semences et LO 708 la plus faible quantité. En 3ème année et sur toutes les parcelles, la proportion du trèfle était tombée au-dessous de 10 % du recouvrement du sol et la production de semences ne laissait pas prévoir une régénération satisfaisante de l'essai (tableau 6).

Un contrôle répété des racines de trèfle a montré la présence de suffisamment de nodules actives, ce qui permet d'assurer que la fixation d'azote n'a pas été le facteur limitant de la croissance du trèfle.

Tableau 6: Recouvrement du sol et rendement en semences de *Trifolium subterraneum* L. sur sol acide (pHKCl 4,4; 20,4 ppm Al-échangeable) à Oulmès.

Variété/ écotype	Origine	% Recouvrement du sol			Rendement en semences (kg/ha)			
		3/5/89	4/5/90	14/5/91	7/89	7/90	7/91	Moyenne
Clare	Australie	15,0	48,7	8,4	61,2	288,7	24,2	124,6
Sancho	Espagne	25,0	58,7	9,2	48,7	182,5	30,6	87,3
Crato	"	20,0	48,5	8,0	46,2	181,7	32,1	86,7
Romao	"	23,7	47,5	7,7	57,5	203,3	38,7	99,8
LO 11	Portugal	37,5	53,8	8,4	44,6	235,8	54,0	111,5
LO 708	"	22,0	42,5	5,0	27,9	84,2	20,2	44,1
TU 46 B	Tunisie	17,5	65,0	6,9	40,8	183,3	34,6	86,2
PPDS 5 %		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	159,2	n.s.	n.s.

Un essai du 'Programme de Sélection' à Oulmès relatif au développement de nouvelles variétés de trèfle, a été réalisé sur un sol de pH similaire (pH KCl 4,3-4,6) mais avec une teneur plus faible en  $Al^{3+}$  échangeable (4,9 ppm). Dans l'année du semis, les rendements ont atteint jusqu'à 5,7 t MS/ha et plus de 1.000 kg/ha de semences. En deuxième année (92/93), les parcelles réinstallées ont fourni jusqu'à 7,36 t MS/ha en 3 coupes malgré de faibles précipitations hivernales (tableau 7).

Tableau 7: Programme de sélection de *Trifolium subterraneum* L.: Ecotypes présélectionnés pour la tolérance au sol acide d'un rendement supérieur à la moyenne de l'essai (1ère réinstallation de 25 écotypes; pH<sub>KCl</sub> 4.3-4.6, Al-éch. 4.9 ppm; rendement total moyen de 25 écotypes 4,52 t/ha MS = 100 %).

Ecotype	Rendement en t MS/ha				Total en % du rendem. moyen
	1e coupe 10/03	2e coupe 07/04	3e coupe 25/05	Total	
211	3,00	2,34	2,02	7,36	162,9
518	2,12	2,59	2,39	7,09	156,9
DM 338	2,52	2,29	2,27	7,08	156,6
222	2,46	2,76	1,68	6,90	152,6
184	2,44	2,38	1,94	6,76	149,5
Clare*	2,49	2,41	1,21	6,11	135,2
491	2,19	2,12	1,63	5,94	131,5
65	1,98	2,11	1,71	5,79	128,2
174	2,08	2,20	1,45	5,72	126,6
883	2,11	2,20	0,84	5,15	113,9
289	1,87	2,31	0,69	4,87	107,8
PPDS 5 %	1,04	0,76	0,52	1,97	

\* variété australienne témoin

A Had Ghoualem, sur un sol granitique de pH<sub>KCl</sub> 4,8, le trèfle n'a pas développé de symptômes de toxicité d'aluminium, et le chaulage n'a pas significativement amélioré la croissance (voir 'Fertilisation à Had Ghoualem').

### Essais variétaux sous pâturage

De grandes prairies uni-variétales ont été semées à Had Ghoualem et Had Aït Mimoun pour étudier la persistance des variétés australiennes sous la pression constamment forte du pâturage (c'est à dire en conditions réelles). Parallèlement, ces prairies ont servi de démonstration, lors des journées d'information organisées pour la vulgarisation de cette plante pastorale peu connue dans la région.

Parmi les 4 variétés semées à Had Aït Mimoun, la formation de semences de Clare a été gênée par l'arrêt précoce des pluies pendant les années défavorables 91 et 92. Par contre, la variété précoce Nungarin a formé chaque année beaucoup de semences, mais elle vieillissait trop tôt pour pouvoir profiter de l'humidité printanière en année favorable (figure 2).

Sur une moyenne de 4 années, les variétés testées ont fourni des rendements annuels en MS de 6,52 t/ha (Clare), 6,15 t/ha (Seaton Park), 5,95 t/ha (Dalkeith) et 4,28 t/ha (Nungarin). Dalkeith et Seaton Park représentent le meilleur compromis entre productivité en MS et rendement en semences.

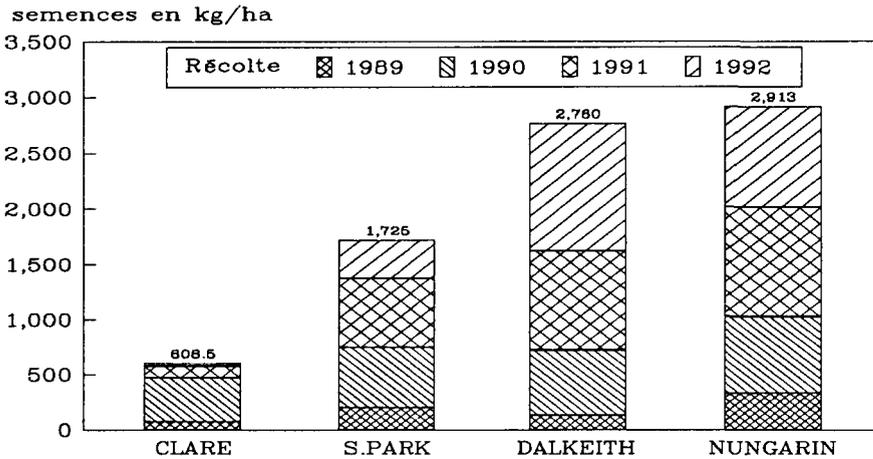


Fig. 2: Rendement en semences de 4 variétés de *Trifolium subterraneum* L. sous pâturage intensif à Had Aït Mimoun.

A Had Ghoualem, 6 variétés australiennes ont été semées en novembre 1989. La pauvreté du sol, le manque de pluies et la pression excessive du pâturage ont empêché un bon développement du trèfle, de sorte que le rendement maximal en MS est resté inférieur à 2,8 t/ha.

Dans ces conditions plus arides qu'à Had Aït Mimoun, non seulement Clare, mais aussi la variété Seaton Park se sont avérées trop tardives pour produire assez de semences. Les variétés plus précoces Nungarin, Northam, Dalkeith et Daliak par contre devraient persister à long terme vu leur rendement annuel en semences toujours supérieur à 200 kg/ha (figure 3).

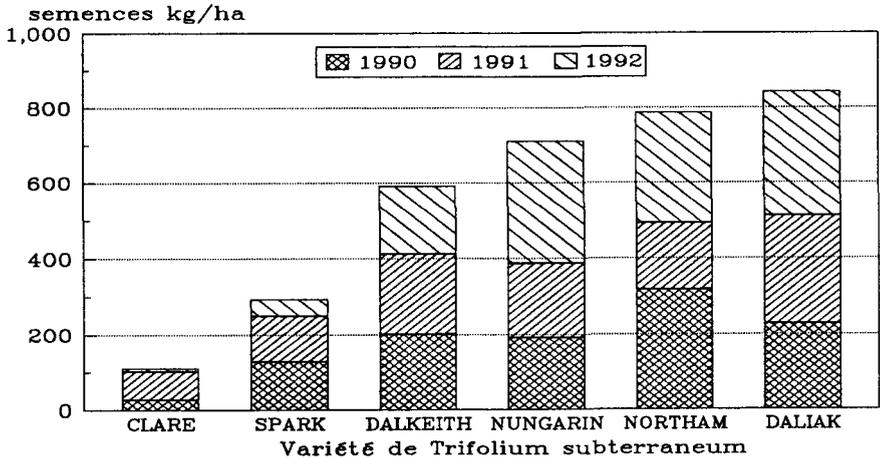


Fig. 3: Rendement en semences de 6 variétés de *Trifolium subterraneum* L. sous pâturage intensif à Had Ghoualem.

Dans les prairies fortement pâturées d'Oulmès, semées avec un mélange de Clare, Woogenellup, Seaton Park, Northam et Dalkeith, la variété Clare a progressivement supplanté les autres et constitué après 3 à 4 années plus de 90 % des trèfles installés.

## Fertilisation

### Chaulage et fertilisation phosphatée sur sol acide à Oulmès

Dans une prairie à trèfle mal installée (densité moyenne du trèfle 26,4 plantules/m<sup>2</sup>), on a étudié l'effet sur le développement du trèfle d'une fertilisation P (0, 30, 60 et 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha chaque année) et d'un chaulage (0, 300, 600 et 1200 kg CaO/ha, au début de l'essai).

Ce n'est qu'en 4ème année que la stimulation de la formation des semences par fertilisation appropriée s'est accumulée, au point de faire apparaître des différences significatives dans le rendement total en semences, de même que dans le recouvrement du sol au printemps (tableau 8).

Tableau 8: Effet de la fertilisation P x  $\text{CaCO}_3$  après 3 années d'expérimentation sur le recouvrement du sol par *Trifolium subterraneum* L. (en % de la végétation totale le 27/03/91) sur sol acide à Oulmès.

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	CaO (kg/ha)				moy. CaO
	0	300	600	1200	
0	13,7	25,4	23,9	18,0	20,2
30	27,8	34,8	38,6	24,9	31,5
60	25,5	29,4	26,6	22,0	25,9
90	30,7	32,4	19,4	19,8	25,6
moy. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	24,4	30,5	28,5	21,2	25,8
PPDS 5 % entre 2 moy.	phosphate: 6,02 chaulage: 5,08 P x CaO: 9,74				

Bien que le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  ait été augmenté de 4.0 à 5.3 (avec 1200 kg CaO/ha), le chaulage seul a influencé le recouvrement et le rendement en semences moins que l'apport de phosphate seul (figure 4).

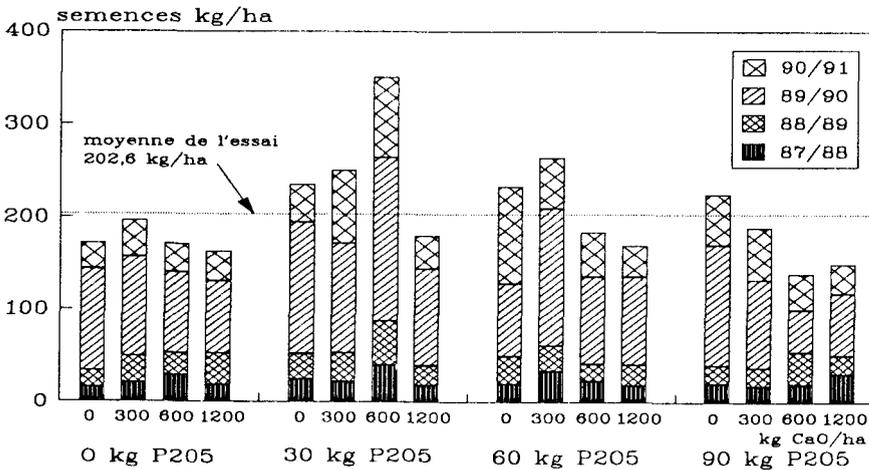


Fig. 4: Effet de la fertilisation P x  $\text{CaCO}_3$  sur la formation de semences de *Trifolium subterraneum* L. sur sol acide à Oulmès.

Seule la combinaison de P et de  $\text{CaCO}_3$  a conduit à des interactions complexes: les meilleurs recouvrements et les rendements en semences les plus élevés ont été obtenus avec des doses réduites (30-60 P avec 300-600 CaO), alors que des doses de chaux plus élevées associées à la fertilisation la plus élevée de P ont eu des effets négatifs.

Au cours des 4 années, le traitement 30 P/600 CaO a plus que doublé le rendement total en semences par rapport aux parcelles témoins (350,3 kg/ha versus 171,8 kg/ha). A long terme, l'amélioration de la production de semences doit avoir une influence décisive sur la persistance et le rendement de la prairie à trèfle.

L'analyse du sol après quatre années d'essai a montré que l'augmentation du pH par chaulage unique au début de l'essai a eu un effet durable. La fertilisation P, répétée chaque année, a doublé la quantité de phosphate assimilable de 7,95 ppm à 16,20 ppm (tableau 9).

Tableau 9: Effet de la fertilisation P x  $\text{CaCO}_3$  sur le pH et la teneur en phosphate assimilable dans le sol acide à Oulmès après 4 années expérimentales.

		pH <sub>KCl</sub>	P-assim. (ppm)
Moyenne P	0 kg CaO	3,97	13,6
	300 kg "	4,26	10,4
	600 kg "	4,66	12,5
	1200 kg "	5,32	12,4
PPDS	5 %	0,24	n.s.
Moyenne CaO	0 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,54	7,95
	30 kg "	4,26	8,20
	60 kg "	4,49	14,60
	90 kg "	4,74	16,20
PPDS	5 %	n.s.	2,8

L'importance d'une fertilisation phosphatée et d'un chaulage appropriés pour la persistance du trèfle à Oulmès a été mise en évidence par le développement de plusieurs prairies de grande surface, semées en 1988 et 1989, avec un mélange de plusieurs variétés de trèfle souterrain.

Après une première réinstallation réussie, suivie par une bonne formation de semences, les rendements en graines ont chuté au cours des années suivantes sur toutes les parcelles, sauf sur la parcelle "Pente", qui a été chaulée avant le semis et fertilisée annuellement avec du phosphate (tableau 10).

Tableau 10: Développement de 5 prairies à base de *Trifolium subterraneum* L. sur sol acide à Oulmès (1989 à 1993).

Parcelle	Baya	Ferme	Bas-Fonds	Entrée	Pente	
Surface (ha)	4,1	5,2	1,2	12,5	7,0	
pH <sub>KCl</sub> initial	4,8	4,6	5,1	5,0	4,6	
Chaulage	sans	sans	sans	sans	1 t CaCO <sub>3</sub> /ha avant semis	
Fertilisation P en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha (* avant semis)	24,0*	33,6*	24,0*	48,0*	24,0* 48,0 oct. 90 24,0 oct. 91	
pH <sub>KCl</sub> 1 an après semis	4,8	4,6	5,1	5,0	5,2	
Date de semis	Oct.88	Oct.88	Oct.88	Oct.88	Nov.89	
Rendement en semences (kg/ha)	7/89 7/90 7/91 7/92 7/93	122,5 180,0 85,8 75,2 <15,0	159,6 192,6 39,2 66,8 <12,0	74,2 208,3 69,6 132,6 48,2	67,5 212,5 112,5 labourée -	- 185,0 161,5 190,5 218,4

### Chaulage et molybdène sur sol acide à Oulmès

Dans un essai en pots (1,8 kg de sol sec/pot), on a étudié l'effet du chaulage (2 t CaCO<sub>3</sub>/ha = 2,86 g CaCO<sub>3</sub>/pot) et d'un apport de molybdène (0, 1, 2, 4 kg/ha Mo sous forme d'ammonium-heptamolybdate) sur le rendement du trèfle souterrain *Clare*. Sans chaulage, un apport de molybdène a augmenté le rendement en MS au maximum de 9 %, alors qu'un chaulage sans molybdène, relevant le pH<sub>KCl</sub> du sol de 4,3 à 5,2, n'a pas augmenté le rendement de plus de 10,5 %. Par contre, la combinaison Mo x CaCO<sub>3</sub> a amélioré la productivité du trèfle de 38,7 %, par rapport au sol non traité (figure 5).

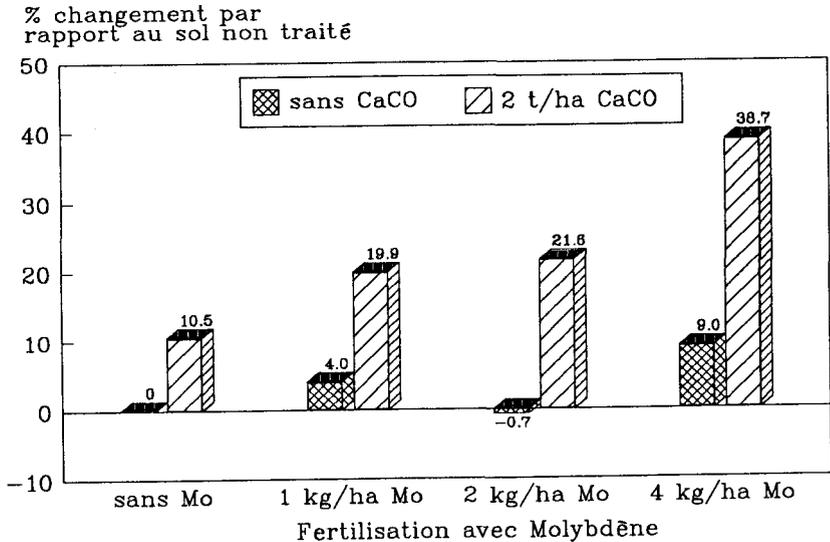


Fig. 5: Effet de la fertilisation avec molybdène et chaux sur le rendement en MS de *Trifolium subterraneum* L. 'Clare' dans le sol acide d'Oulmès (essai en pot).

Cet effet favorable de l'association Mo x  $\text{CaCO}_3$  n'a pas pu être reproduit dans un essai au champ pendant deux années consécutives, en raison des conditions météorologiques défavorables (sécheresse). Par conséquent, une appréciation finale de l'effet de fertilisation de Mo x  $\text{CaCO}_3$  fait encore défaut.

D'autres essais orientatifs en serre ont montré que le sol d'Oulmès contient tous les autres oligo-éléments, ainsi que K et Mg en quantité suffisante pour garantir une croissance optimale du trèfle.

### Fertilisation du trèfle souterrain dans le sol granitique de Had Ghoualem

Les résultats d'analyses du sol et des premiers essais orientatifs ont mis en évidence un manque important de P dans les sols de Had Ghoualem. Schulte-Batenbrock (1985) a obtenu par fertilisation avec 50 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha une augmentation des rendements en semences d'environ 104 % en moyenne de 4 variétés de trèfle.

En 86/87, aucun effet de la fertilisation n'a pu être constaté, à cause de l'insuffisance des pluies, mais dans la répétition de cet essai en 87/88, l'apport combiné de P, K et Mg a plus que doublé le rendement du trèfle souterrain Seaton Park. Chaulage et oligo-éléments par contre n'ont pas eu d'effet significatif (Schulte-Batenbrock 1988).

Pour examiner de près l'importance des oligo-éléments, un essai en pots a été réalisé en serre à Rabat-Guich, avec le sol granitique infertile de Had Ghoualem:

D'une fertilisation complète (=COMP), contenant les éléments N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Bo, Cu, Zn et Mo en quantité appropriée pour assurer un développement optimal du trèfle souterrain Clare, un élément à la fois a été omis (=COMP-X) pour déterminer si la teneur naturelle du sol suffisait à l'approvisionnement du trèfle avec l'élément spécifique. Un traitement sans fertilisation (=TEMOIN) et une variante avec seulement NPKCa ont complété l'essai. Tous les pots (2,2 kg sol sec/pot) ont été inoculés avec *Rhizobium trifolii* WU290 et contenaient 7 plantes (détails de l'essai voir Bätke 1990).

Cet essai a mis en évidence le déficit du sol en P, K et Mg. Une carence en oligo-éléments n'a pas été constatée (figure 6). La nodulation et la fixation d'azote n'ont pas été limitées par la faible acidité du sol ( $pH_{KCl} 6,2$ ); vu que l'absence de N-minérale (COMP-N) ou de  $CaCO_3$  (COMP-Ca) est restée sans effet négatif sur le rendement du trèfle. Toutefois, l'importance de Ca pour la formation de graines n'a pas pu être approfondie dans cet essai en pot.

La faible baisse du rendement lors de la 3ème coupe pour les traitements sans Bo (COMP-Bo) ou sans Mn (COMP-Mn) peut indiquer que les réserves de ces éléments dans le sol commençaient à s'épuiser.

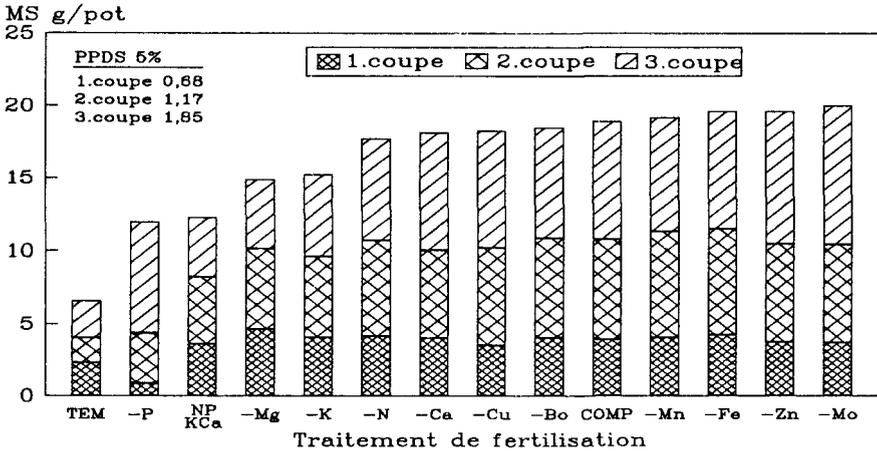


Fig. 6: Effet de l'absence d'éléments nutritifs dans une fertilisation complète sur le rendement en MS de *Trifolium subterraneum* L. 'Clare' dans le sol infertile de Had Ghoualem.

## Inoculation

La végétation spontanée rencontrée sur les sites expérimentaux comporte plusieurs espèces du genre *Trifolium*, *T. glomeratum*, *T. tomentosum* et *T. campestre* étant les plus répandues. L'existence plus rare de *T. subterraneum* L. spontanée nous a incité à examiner si le sol contenait des souches de *Rhizobium* efficaces pour la nodulation du trèfle souterrain semé.

A Had Ghoualem, au cours d'une année sèche, Schulte-Batenbrock (1986) n'a pas constaté d'effet positif de l'inoculation sur le rendement du trèfle. Par contre, pendant la saison pluvieuse de 87/88, l'inoculation a augmenté la production en MS de 2 variétés de trèfle de 13,8 % en moyenne (tableau 11).

Tableau 11: Effet de l'inoculation avec *Rhizobium trifolii* et chaulage sur le rendement en MS de *Trifolium subterraneum* L. à Had Ghoualem (modifié d'après Schulte-Batenbrock 1988).

Variété	Rendement en MS t/ha				Changement moyenne de rendement par inoculation
	Seaton Park		Northam		
	sans	avec	sans	avec	
Inoculation					
Témoin	3.19	4.28	3.23	3.17	+ 15.9 %
Enrobage avec chaux	3.48	4.11	3.20	3.36	+ 11.7 %
200 kg/ha CaCO <sub>3</sub> en lignes semées	3.69	3.97	3.04	3.05	+ 4.5 %
1 t/ha CaCO <sub>3</sub> sur la surface du sol	3.03	3.08	2.63	2.85	+ 4.6 %
PPDS 5%	0.81		0.81		10.3

Dans un essai similaire réalisé par El Mzouri (1988), l'inoculation est restée sans effet significatif sur la croissance du trèfle, et dans des semis de prairies à grande échelle, avec des semences non inoculées, aucune difficulté de nodulation n'a été constatée. La coloration rougeâtre à l'intérieur des nodules témoignait de l'efficacité des souches de *Rhizobium* naturellement présentes dans le sol.

De même, les premiers essais de trèfle réalisés à Sidi Aissa ont montré une présence satisfaisante de *Rhizobium* adapté; de sorte que nous avons renoncé à installer des essais d'inoculation sur ce site.

Les conditions particulièrement difficiles d'Oulmès nous ont amené à examiner la tolérance de différentes souches rhizobiennes vis-à-vis des basses températures hivernales et de l'acidité du sol:

L'effet de cinq souches de *Rhizobium trifolii* sur la croissance du trèfle souterrain Clare a été comparé à 2 doses de fertilisation azotée (70 et 100 kg/ha/an N sous forme de ammonnitrate, répartis en deux doses) et un témoin sans inoculation. (Inoculation et enrobage avec chaux et gomme arabique; pH<sub>KCl</sub> du sol 5,0; désherbage avec 2 l/ha Basagran M chaque année).

Au cours des deux années d'observation, ni l'inoculation, ni le choix des souches de *Rhizobium* n'ont eu d'effet sur la production du trèfle. La faible

hausse du rendement dans les traitements avec fertilisation azotée provenait des graminées spontanées, favorisées par l'apport d'azote minérale (figure 7).

On en a conclu que l'installation du trèfle souterrain à Oulmès ne nécessite pas une inoculation des semences.

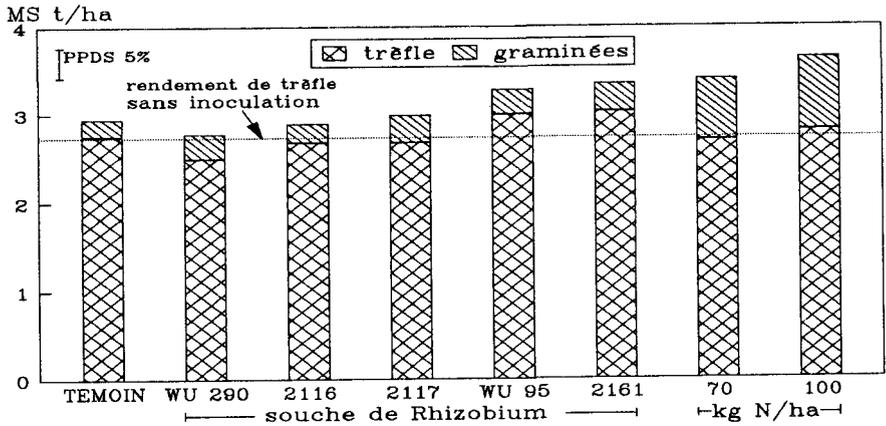


Fig. 7: Effet du choix de *Rhizobium trifolii* pour l'inoculation du trèfle souterrain et de la fertilisation azotée sur le rendement.

## DISCUSSION

### Choix de variétés

Le bon comportement de *Trifolium brachycalycinum* 'Clare' et de quelques écotypes marocains de la même sous-espèce sur les sols argileux d'Oulmès et Sidi Aissa dépend entre autres de leur capacité de former des semences sans enfoncer les pédoncules dans le sol (Francis *et al.* 1972, Lopez *et al.* 1989). La productivité élevée de Clare par rapport aux écotypes français et espagnols dans un climat à hiver frais a été aussi rapportée par Voltaire *et al.* (1992).

Les bons résultats fournis par les écotypes No. 518, 211 et 222 dans le programme de sélection ont été confirmés par des essais similaires réalisés sur d'autres sites au Maroc (Rausch, communication personnelle). La floraison tardive de ces écotypes leur permet de profiter davantage des précipitations tardives, courantes en altitude, et d'échapper au risque d'endommagement par des

gels nocturnes vers la fin de hiver (Donald 1960). L'écotype No. 518, trouvé à 1200 m d'altitude, est probablement le résultat d'une présélection naturelle pour la résistance au froid (Matthäus, communication personnelle).

Les essais variétaux en grandes parcelles sous exploitation par pâturage à Had Mimoun et Had Ghoualem confirment les résultats de Rossiter (1966); à savoir que la précocité de la variété à semer doit être choisie selon la pluviométrie de la région cible et la répartition des pluies au printemps; car l'humidité qui existe dans le sol pendant la phase générative exerce une influence déterminante sur le rendement en semences (Archer 1990).

En climat subhumide (S. Aissa, Oulmès), la précocité a moins d'influence sur le niveau de rendement en semences qu'en climat semi-aride, où le déficit hydrique au printemps défavorise la formation des graines chez les variétés tardives (Francis et Gladstones 1974, Blumenthal *et al.* 1993). Ceci a été mis en évidence à Had Ghoualem, où les variétés précoces Nungarin, Northam, Dalkeith et Daliak ont persisté avec succès, mais où Seaton Park et Clare n'ont pas pu produire assez de semences. Dans la phase générative, Nungarin est considérée comme étant plus sensible au déficit hydrique que Dalkeith ou Seaton Park (Blumenthal *et al.* 1993, Archer 1990), mais il échappe plus souvent à la sécheresse printanière grâce à sa précocité supérieure.

Un bon rendement en semences assure une densité d'installation élevée au cours de l'année suivante, qui est la base d'une production élevée en MS (Cocks 1974). Pourtant, quelques variétés peuvent compenser une faible densité d'installation par une croissance végétative accrue; ce qui a été démontré pour Woogenellup et Seaton Park (Blumenthal *et al.* 1993) et pour Clare (Hill *et al.* 1991). Cette compensation peut expliquer les bons rendements en MS de Clare et Seaton Park à Had Mimoun malgré leurs rendements en semences inférieurs à ceux de Nungarin et Dalkeith.

La réussite de Clare dans les mélanges à Oulmès, où la formation de semences n'a pas été limitée par des printemps secs, confirme les résultats de Hill *et al.* (1991) qui ont trouvé une forte compétitivité de cette variété dans un climat subhumide.

## Tolérance au gel

La sensibilité au gel relativement élevée de Clare a aussi été rapportée par Montoya (1979) et Masson *et al.* (1985). En général, les écotypes du Bassin Méditerranéen semblent mieux adaptés au froid hivernal que les culti-

vars australiens (Piano *et al.* 1982, Masson et Gintzburger 1987). Au Maroc, les trèfles souterrains ont été trouvés dans le Haut-Atlas jusqu'au-dessus de 2000 m d'altitude (Matthäus 1992). Pour survivre dans ces conditions, une forte tolérance au gel est indispensable.

## Acidité du sol

Les différences de productivité du trèfle dans les deux essais variétaux réalisés à Oulmès, peuvent être expliquées par la disponibilité différente de  $Al^{3+}$  dans les parcelles expérimentales (20,4 ppm versus 4,9 ppm à  $pH_{KCl}$  4,4 et 4,5). La teneur en  $Al^{3+}$ -échangeable dans le sol s'accroît rapidement quand le pH descend à  $< 4,6$ , mais dépend aussi de la quantité de phosphate présente, capable de fixer l'aluminium (Hochmann *et al.* 1990).

Bätke (1989a) a montré l'accroissement de  $Al^{3+}$ -échangeable en fonction du pH dans 123 échantillons de sol à Oulmès, où Glatzle (1983) a trouvé des concentrations toxiques d'aluminium (856  $\mu g/100$  g MS) dans des feuilles de trèfle sur une parcelle de  $pH_{CaCl_2}$  4,4 avec 36 ppm  $Al^{3+}$ -échangeable.

La présence de nodules actives même sur les plantes chétives et endommagées par l'aluminium à Oulmès indique que la disponibilité de  $Al^{3+}$  est plus nuisible pour le métabolisme du trèfle que pour la nodulation. Dans une culture en solution à  $pH > 4,0$ , Richardson *et al.* (1988) ont observé peu d'effet de la concentration de  $Al^{3+}$  sur l'induction des gènes de nodulation dans les *Rhizobium*, mais en général un  $pH_{CaCl_2} < 4,5$  dans le sol est considéré préjudiciable à la formation des nodules (Wood *et al.* 1984, Whelan *et al.* 1986, Edmeades *et al.* 1991).

Compte tenu de l'acidité du sol dans la région d'Oulmès, qui se situe autour du seuil critique de pH 4,5, un petit changement peut avoir des conséquences considérables sur la croissance du trèfle. Pour cette raison, la détermination exacte du pH et éventuellement l'analyse de la teneur en  $Al^{3+}$ -échangeable dans le sol s'impose avant tout semis de trèfle à grande échelle pour pouvoir, si nécessaire, corriger le pH par chaulage.

A Had Ghoualem et Sidi Aissa, les sols ne sont pas assez acides pour limiter la croissance du trèfle. Toutefois, un chaulage peut être indiqué à Had Ghoualem pour satisfaire les besoins du trèfle en  $Ca^{2+}$  pendant la phase générative (voir 'Fertilisation' ci-dessous).

## Fertilisation à Oulmès

Le développement de cinq prairies à base de trèfle a démontré l'importance d'une fertilisation avec phosphate et chaux pour assurer la persistance du trèfle. Les résultats de l'essai de fertilisation P x CaCO<sub>3</sub> témoignent de la complexité des interactions entre les éléments nutritifs et le sol à pH clément.

Le faible effet de P et Ca observé au cours des deux premières années d'essai, s'explique par la distribution superficielle de l'engrais sans enfouissement ultérieur (Simpson et Pinkerton 1989). A la suite des pluies et du piétinement des ovins, l'engrais s'est infiltré dans la zone racinaire.

L'amélioration du recouvrement et du rendement en semences du trèfle au cours des années suivantes, conforme aux résultats similaires obtenus en Australie (Horsnell 1985, Bolland 1985), peut être attribuée à la réduction de la disponibilité en Al<sup>3+</sup> et à l'augmentation de la teneur en P-assimilable de 7,9 ppm à 16,2 ppm dans le sol. Evans *et al.* (1990) et Scott et Cullis (1992) ont montré que l'effet sur le trèfle d'une augmentation de pH<sub>CaCl2</sub> initiale d'environ 4,3 par chaulage, est plus grand sur des sols argileux que sur des sols sablonneux.

L'observation d'un effet neutre ou même négatif de fortes doses de P et CaCO<sub>3</sub> dans l'essai P x CaCO<sub>3</sub> n'est pas sans précédent: Hochmann *et al.* (1990) ont attribué un tel effet à la formation réversible des complexes d'apatite non disponible pour les plantes. Cependant, la hausse en P-assimilable, indépendamment du niveau de chaulage dans l'essai à Oulmès n'indique pas une telle fixation. On n'a pas pu déterminer si le phosphate a été immobilisé à l'intérieur des plantes en raison d'un excès de Ca<sup>2+</sup>.

Le faible effet du chaulage seul dans l'essai P x CaCO<sub>3</sub> peut être expliqué par les résultats de l'essai en pots avec Mo et chaux, où le CaCO<sub>3</sub> entraînait seulement en combinaison avec Mo une hausse du rendement allant jusqu'à 38,7 %. Des effets similaires ont été observés par Ratera *et al.* (1977) et Coventry *et al.* (1985 et 1987). La fertilisation Mo sans chaulage reste sans effet dans un sol à pH<sub>KCl</sub> < 5,0, en raison de la fixation immédiate (Riley 1984).

L'effet positif d'une combinaison Mo x CaCO<sub>3</sub> n'a pas pu être mis en évidence dans l'essai au champ en raison de deux années de sécheresse consécutives, qui ont masqué l'effet de la fertilisation.

## Fertilisation à Had Ghoualem

Le déficit en P et K dans le sol granitique infertile de Had Ghoualem a été montré par Schulte-Batenbrock (1985, 1986, 1988). L'essai en pots a mis en évidence qu'en plus de P et K, la magnésie constitue également un facteur limitant pour la croissance du trèfle dans ce type de sol. Sa teneur en  $\text{Ca}^{2+}$ -assimilable (1,5 à 2 mval/100 g sol) est trop faible pour induire une carence physiologique en Mg comme Carran (1991) l'a observé à des Ca:Mg-ratios > 20.

L'essai en pots n'a pas pu répondre à la question de savoir si la faible disponibilité en  $\text{Ca}^{2+}$  - sans effet sur le rendement en MS - a été suffisante pour la phase générative. Ozanne et Howes (1974) ont considéré 3 mval  $\text{Ca}^{2+}$ /100 g de sol nécessaires pour la formation optimale de semences. Dans un essai de démonstration réalisé à Had Ghoualem, le chaulage a plus que doublé le rendement en semences, probablement grâce à cet effet direct de  $\text{Ca}^{2+}$  (Bätke 1989b).

Des observations portant sur plusieurs années ont mis en évidence que la pluviométrie faible et irrégulière est un important facteur qui limite la croissance du trèfle à Had Ghoualem. En année défavorable, les plantes ne profitent pas de la fertilisation; mais il est à souligner que dans le cas contraire, le potentiel productif du trèfle ne peut pas être exploité sans un apport d'engrais approprié. Une analyse économique sera nécessaire pour déterminer si un semis et une fertilisation sont rentables à long terme.

## Fertilisation à Sidi Aissa

Aucun essai spécifique avec le trèfle souterrain n'a été réalisé, mais l'apport de P et K sur des parcours naturels s'est avéré positif pour le développement des légumineuses spontanées (Bätke 1991). La faible disponibilité de P dans le sol non fertilisé (1,93 ppm P-assimilable) explique l'efficacité du phosphate apporté, mais l'effet de la potasse a été surprenant compte tenu des 240 ppm K-assimilable naturellement présents dans le sol. Des essais supplémentaires s'imposent pour mieux préciser l'intérêt d'une fertilisation potassique.

Par rapport à d'autres légumineuses pastorales, *Trifolium subterraneum* L. a des besoins moyens en phosphate (Bolland et Paynther 1992). L'introduction du trèfle dans des parcours à Sidi Aissa nécessiterait certainement une fertilisation phosphatée élevée au semis, vu la carence en P assimilable dans le sol.

## Inoculation

La nodulation satisfaisante du trèfle souterrain, semé sans inoculation dans tous les sites expérimentaux, indique la présence de *Rhizobium trifolii* adapté, probablement grâce à la présence de diverses espèces spontanées de *Trifolium*. Même le pH acide du sol à Oulmès n'a pas complètement supprimé la formation de nodules actives (voir 'Acidité du sol'). L'essai d'inoculation réalisé dans ce sol n'a pas révélé de différences entre diverses souches importées de *Rhizobium* et la population locale, quant à leur aptitude d'assurer la croissance optimale du trèfle.

## CONCLUSION

Les essais pluriannuels réalisés dans divers sites du Moyen-Atlas ont montré les possibilités qu'offre *Trifolium subterraneum* L. pour la création de prairies permanentes dans cette région. Les résultats obtenus permettent de présenter les recommandations suivantes:

### Choix variétal

Lorsque la pluviométrie annuelle dépasse 500 mm (Oulmès, Sidi Aissa), la variété australienne Clare est bien adaptée aux sols acides à neutres. Les plantes bien installées supportent des gels occasionnels jusqu'à des températures de l'ordre de  $-10^{\circ}\text{C}$  au stade rosette. Les nouvelles sélections d'écotypes marocains dotés d'une meilleure tolérance au gel et une croissance hivernale supérieure à Clare seront présentées à l'inscription au catalogue officiel en 1994. Leur niveau de rendement total en MS dépasse 7 t/ha à Oulmès.

En altitude moyenne, sur des sites semi-arides (350 à 450 mm), les variétés Nungarin, Northam et Dalkeith sont adaptées aux sols qui sèchent tôt au printemps (Had Ghoualem). Dalkeith et Seaton Park seront préférées sur des sites, où le sol garde l'humidité plus longtemps (Had Mimoun).

### Fertilisation

Les sites expérimentaux se sont avérés moyennement (Oulmès, Had Mimoun) à fortement (Sidi Aissa, Had Ghoualem) déficitaires en P-assimilable. Pour l'installation de trèfle souterrain, une fertilisation phosphatée sera indispensable, à raison de 30 à 80 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  /ha selon la disponibilité de P dans le sol. De plus, le trèfle nécessite à Had Ghoualem l'apport de K, Mg et Ca pour profiter davantage des pluies en années favorables.

## Inoculation

Avant le semis du trèfle souterrain, l'abondance de trèfles spontanés dans la région cible doit être vérifiée. En cas de présence de diverses espèces de *Trifolium* dans les jachères et les parcours, les populations spontanées de *Rhizobium trifolii* assurent la nodulation du trèfle semé, de sorte qu'une inoculation des semences n'est pas nécessaire.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le technicien Monsieur A. Bouirmane pour son assistance technique et son travail permanent. Mes remerciements s'adressent également à l'équipe d'ouvriers du Programme Fourrages et aux ouvrières d'Oulmès pour leur inlassable ardeur durant le désherbage des essais et la récolte difficile des semences de trèfle. Pour la mise à disposition et la préparation du terrain expérimental, je remercie la SNDE et les chefs des fermes à Sidi Aissa et Oulmès ainsi que les agriculteurs A. Jmili de Had Mimoun et F. Bouamar à Had Ghoualem.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Archer, K.A. (1990). The effects of moisture supply and defoliation during flowering on seed production and hardseededness of *Trifolium subterraneum* L. *Aust. J. Exp. Agric.* **30**, 515-22.
- Bätke, C. (1989a). Oulmès. Aspects écologiques. Dans: INRA/GTZ, Rapport annuel du Programme Fourrages 88/89, p. 108, Rabat, manusc. ronéot.
- Bätke, C. (1989b). Fertilisation de *Trifolium subterraneum*. Dans: INRA/GTZ, Rapport annuel du Programme Fourrages 88/89, p. 120-2, Rabat, manusc. ronéot.
- Bätke, C. (1990). Essai de fertilisation en pot de sol de Had Ghoualem. Dans: INRA/GTZ, Rapport annuel du Programme Fourrages 89/90, p. 102, Rabat, manusc. ronéot.
- Bätke, C. (1991). Sidi Aissa. Amélioration des parcours naturelles. Dans: INRA/GTZ, Rapport annuel du Programme Fourrages 90/91, pp. 168-70, Rabat, manusc. ronéot.

- Bätke, C. (1992). Amélioration de la jachère par fertilisation et désherbage. *Al Awamia* **79**, 125-144.
- Blumenthal, M.J. and Ison, L.R. (1993). Water Use and Productivity in sub-clover and Murex Medic Swards. II. Seed production. *Aust. J. Agric. Res.* **44**, 109-19.
- Bolland, M.D.A. (1985). Effects of phosphorus on seed yields of subterranean clover, serradella and annual medics. *Aust. J. Exp. Agric.* **25**, 595-602.
- Bolland, M.D.A. and Paynter, B.H. (1992). Comparative responses to annual pasture legume species to superphosphate applications in medium and high rainfall areas of Western Australia. *Fertilizer Research* **31**, 21-33.
- Carran, R.A. (1991). Calcium magnesium imbalance in clovers: a cause of negative yield response to liming. *Plant and Soil* **134**, 107-14.
- Cocks, P.S. (1974). Potential production of grass and clover monocultures in a Mediterranean-type environment - an experimental approach. *Aust. J. Agric. Res.* **25**, 835-46.
- Collins, W.J., Francis, C.M. and Quinlivan, B.J. (1984). Registered cultivars of subterranean clover - their origin, identification and potential use in Western Australia. Dep. Agric. West. Aust. Bull. 4083.
- Coventry, D.R., Hirth, J.R., Reeves, T.G. and Burnett, V.F. (1985). Growth and nitrogen fixation by subterranean clover in response to inoculation, molybdenum application and soil amendment with lime. *Soil Biology and Biochemistry* **17**, 791-96.
- Coventry, D.R., Hirth, J.R. and Fung, K.K.H. (1987). Nutritional constraints on subterranean clover grown on acid soils used for crop-pasture rotations. *Aust. J. Agric. Res.* **38**, 163-76.
- Dear, B.S. and Jenkins, L. (1992). Persistence, productivity and seed yield of *Medicago murex*, *M. truncatula*, *M. aculeata* and *Trifolium subterraneum* on an acid red earth soil in the wheat belt of eastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* (1992) **32**, 319-29.
- Donald, C.M. (1960). The influence of climatic factors on the distribution of subterranean clover in Australia. *Herb. Abs.* **30**, 81-90.

- Edmeades, D.C., Blamey, F.P.C., Asher, C.J. and Edwards, D.G. (1991). Effects of pH and Aluminium on the growth of Temperated Pasture Species. II. Growth and Nodulation of Legumes. *Aust. J. Agric. Res.* **42**, 893-900.
- El Mzouri, E. (1988) Had Ghoualem. Essai d'inoculation de différentes variétés pastorales sur sol acide. In: INRA/GTZ, Station Centrale des Plantes Fourragères. Rapport Annuel 87/88, p. 157, Rabat, manusc. ronéot.
- Evans, J., Dear, B. and O'Connor, G.E. (1990). Influence of an acid soil on the herbage yield and nodulation of five annual pasture legumes. *Aust. J. Exp. Agric.* (1990) **30**, 55-60.
- Francis, C.M., Quinlivan, B.J. and Nicol, H.I. (1972). Variation in burrial ability in subterranean clover. *Aust. J. Agric. Res.* **23**, 605-10.
- Francis, C.M. and Gladstones, J.S. (1974). Relationship among rate and duration of flowering and seed yield components in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Aust. J. Agric. Res.* **25**, 435-42.
- Gillespie, D.J. and Nicholas, D.A. (1989). Pasture legume recommendations for sowing in 1989. Western Australian Department of Agriculture, Bulletin 4139.
- Gladstones, J.S. and Collins, W.J. (1983). Subterranean clover as a naturalized plant in Australia. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* **49**, 191-202.
- Glatzle, A. (1983). Oulmès. Essais d'adaptation de plantes fourragères et pastorales. Dans: INRA/GTZ, Station Centrale des Plantes Fourragères. Rapport Annuel 83/84, p. 47, Rabat, manusc. ronéot.
- Hill, M.J. and Gleeson, A.C. (1991). Competition between Clare and Seaton Park, and Clare and Daliak subterranean clovers in replacement series mixtures in the field. *Aust. J. Agric. Res.* **42**, 161-73.
- Hochmann, Z., Osborne, G.J., Taylor, P.A. and Cullis, B. (1990). Factors Contributing to reduced productivity of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) pastures on acidic soils. *Aust. J. Agric. Res.* (1990) **41**, 669-82.

- Horsnell, L.J. (1985). The growth of improved pastures on acid soils. 2. The effect of soil incorporation of lime and phosphorus on the growth of subterranean clover and lucerne pastures and their responses to topdressing. *Aust. J. Exp. Agric.* **25**, 157-63.
- Jaritz, G., Bounejmate, M. *et al.* (1981 - 1993). Rapport annuel du Programme Fourrages. INRA/GTZ, Station Centrale des Plantes Fourragères, Rabat, manusc. ronéot.
- Jaritz, G. (1991). La contribution des prairies améliorées aux ressources fourragères au Maroc. Soc. Portug. de Pastagens e Forragens, XII Reuniao de Prima Vera, Monte Giordo/Algarve.
- Katznelson, J. (1974). Biological flora of Israel. 5. The subterranean clovers of *Trifolium* subsect. *Calycomorphum* Katzn. *Trifolium subterraneum* L. (sensa latu). *Isr. J. Bot.* **23**, 69-108.
- Lopez, F.G., Leon, M. and Pozo, J. (1989). Ability of subterranean clover to produce viable seeds at the soil surface. *Revistas Pastos* N° Extraordinaria, 197-203.
- Masson, P., Rochon, J.J. Delorme, R. and Goby, J.P. (1985). Some observations about frost tolerance of different cultivars of *Trifolium subterraneum* during the 1985 cold winter in south of France. Proceedings of the 4th FAO sub-network-meeting on mediterranean pastures, Elvas, Portugal, 16-19 April 1985.
- Masson, P. et Gintzburger, G. (1987). Le trèfle souterrain (*Trifolium subterraneum*). Essais préliminaires et perspectives d'utilisation dans une zone méditerranéenne française: Le Roussillon. *Fourrages* **110**, 183-204.
- Matthäus, D. (1992). Verbreitung und Eigenschaften spontan vorkommender *Trifolium subterraneum*-Genotypen in Marokko. Dissertation aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II, Justus-Liebig-Universität Gießen, R.F.A.
- Montoya, O.J.M. (1979). A comparison of ten subterranean clover ecotypes of the Spanish Institute for Forestry Research and Experimentation with the variety Mount Barker. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Produccion Vegetal*; No. 10, 39-58.

- Osman, A.E., Ibrahim, M.H. and Jones, M.A. (Eds.) (1990). The role of legumes in the farming systems of the Mediterranean Areas. Proceedings of a workshop on the role of legumes in the farming systems of the Mediterranean areas. UNDP/ICARDA, Tunis, June 1988, Kluwer Academic Publishers, London.
- Ozanne, P.G. and Howes, K.M.W. (1973). The effect of calcium supply on burr and seed formation in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) *Aust. J. Agric. Res.* **24**, 839-50.
- Ozanne, P.G. and Howes, K.M.W. (1974). Increased seed production of subterranean clover pastures in response to fertilizers supplying calcium. *Aust. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.* **14**, 749-57.
- Piano, E., Sardana, M. and Pusceddu, S. (1982). Observations on the distribution and ecology of subterranean clover and other annual legumes in Sardinia. *Rivista di Agronomia* **16**, 273-83.
- Ratera, C., Puente, J. and Tiver, N.S. (1977). Respuestas de diversas leguminosas e la inoculacion, cal y microelementos en various suelos del centro y suroeste de Espana. *Pastos* **7**, 86-101.
- Richardson, A.E., Djordjevic, M.A., Rolfe, B.G. and Simpson, R.J. (1988). Effects of pH, Ca and Al on the exudation from clover seedlings of compounds that induce the expression of nodulation genes in *Rhizobium trifolii*. *Plant and Soil* (1988) **109**, 37-47.
- Riley, M.M. (1984). Molybdenum deficiency in the wheatbelt. *J. Agric.* **25**, 128-31.
- Rossiter, R.C. (1966). The success or failure of strains of *Trifolium subterraneum* L. in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.* **17**, 425-46.
- Schachtschnabel, P., Blume, H.P., Hartge K.H. und Schwertmann, U. (1982). Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- Schulte-Batenbrock, T. (1985). Had Ghoualem. In: INRA/GTZ, Station Centrale des Plantes Fourragères. Rapport Annuel 84/85, pp. 172-7, Rabat, manusc. ronéot.

- Schulte-Batenbrock, T. (1986). Had Ghoualem. Essai d'inoculation de différentes légumineuses pastorales. In: INRA/GTZ, Station Centrale des Plantes Fourragères. Rapport Annuel 85/86, pp. 186-7, Rabat, manusc. ronéot.
- Schulte-Batenbrock, T. (1988). Had Ghoualem. In: INRA/GTZ, Station Centrale des Plantes Fourragères. Rapport Annuel 87/88, Rabat, manusc. ronéot.
- Scott, B.J. and Cullis, B.R. (1992). Subterranean clover pasture responses to lime application on the acid soils of southern New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric.* (1992) **32**, 1051-9.
- Simpson, J.R. and Pinkerton, A. (1989). Fluctuations in soil moisture, and plant uptake of surface applied phosphate. *Fertilizer Research* **20**, 101-8.
- Volaire, F., Lelièvre, F. and Prosperi, J.M. (1992). Production of cultivars and native populations of *Trifolium subterraneum* L. in the south of France (Corsica). *Aust. J. Exp. Agric.* (1992) **32** (5), 619-25.
- Whelan, A.M. and Alexander, M. (1986). Effects of low pH and high Al, Mn and Fe levels on the survival of *Rhizobium trifolii* and the nodulation of subterranean clover. *Plant Soil* **92**, 363-71.
- Wood, M., Cooper, J.E. and Holding, A.J. (1984). Soil acidity factors and nodulation of *Trifolium repens*. *Plant Soil* **78**, 367-79.