

# Évaluation morphologique et agronomique de soixante populations marocaines des genres *Trifolium* et *Lotus*

K. Bennani<sup>1</sup>, I. Thami Alami<sup>2</sup>, C. Al Faïz<sup>2</sup>

**Les légumineuses fourragères sont une ressource essentielle pour l'amélioration des pâturages et des parcours au Maroc. L'évaluation agronomique de populations locales montre une diversité génétique intéressante et certaines populations pourraient conduire à la sélection d'espèces prairiales, adaptées à différents milieux et modes d'utilisation.**

## RÉSUMÉ

Une étude morphologique et biométrique a été réalisée sur 60 populations appartenant à 11 espèces légumineuses des genres *Trifolium* et *Lotus*, collectées dans différentes régions du Maroc. Il existe une variabilité significative intra- et interspécifique, principalement pour le taux de matière sèche et la durée de floraison. Une analyse en composantes principales a permis de regrouper les populations en fonction de leurs caractères morphologiques et agronomiques. Les populations de *T. isthmocarpum* et *L. ornithopodioides*, plus productives, peuvent être utilisées comme cultures fourragères. D'autres espèces paraissent intéressantes pour le sursemis dans les prairies et pour lutter contre l'érosion des sols.

## SUMMARY

### **Morphological and agricultural assessment of sixty Moroccan populations of the genera *Trifolium* and *Lotus***

The forage legumes constitute an essential resource for the pastures and rangelands of Morocco. A morphological and biometrical survey of 60 populations belonging to 11 leguminous species of the genera *Trifolium* and *Lotus* was carried out; they were collected from different Moroccan regions. Their agricultural assessment shows an interesting genetic diversity, mainly as regards the dry-matter content and the duration of flowering. Some of these populations could be used for the breeding of pasture species, adapted to different environments and types of utilization. The populations of *T. isthmocarpum* and *L. ornithopodioides*, with their higher yields, can be used as forage crops. Other species seem to be of interest for the overseeding of pastures, and against soil erosion.

La valeur agronomique et économique des légumineuses fourragères au Maroc a été soulignée par plusieurs auteurs (BEALE *et al.*, 1993 ; JARTZ, 1997). Elles améliorent la fertilité du sol, assurent une bonne production animale et augmentent le rendement des cultures suivantes dans les systèmes de rotation de culture. Ainsi, il devient nécessaire de sélectionner des variétés adaptées à différentes conditions édaphiques et climatiques.

Au Maroc, dans les zones pluviales, les cultures fourragères sont limitées à un faible nombre d'espèces légumineuses, parmi lesquelles on trouve des vesces, du pois fourrager et, à très petite échelle, du lupin. Les

tentatives d'introduction dans la rotation de luzerne et de trèfle souterrain ont échoué à cause de différentes raisons sociales et techniques. **La collecte et l'évaluation des ressources génétiques locales s'imposent donc comme un préalable au développement de nouvelles cultures fourragères.** Les espèces légumineuses des genres *Trifolium* et *Lotus* (famille des Fabaceae) sont des composantes importantes des pâturages (GARCIA DE LOS SANTOS *et al.*, 2001 ; DING *et al.*, 2003). Les espèces appartenant à ces genres constituent des ressources fourragères importantes dans les pays où elles sont cultivées et/ou "domestiquées" (STENGLER *et al.*, 2003).

## AUTEURS

1 : Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Département de Biologie, 4, Av. Ibn Battouta, B.P. 1014 RP, Rabat (Maroc) ; bennani.kawtar@gmail.com

2 : Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), B.P. 415, Rabat (Maroc)

**MOTS CLÉS** : Facteur milieu, légumineuse, lotier, Maroc, population naturelle, prospection génétique, ressources génétiques, semence fourragère, *Trifolium* spp., variabilité génétique, variabilité interspécifique, variabilité intraspécifique.

**KEY-WORDS** : Bird's-foot trefoil, environmental factor, forage seed, genetic resources, genetic variation, interspecific variability, intraspecific variability, legume, Morocco, natural population, plant collection, *Trifolium* spp.

**RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE** : Bennani K., Thami Alami I., Al Faïz C. (2010) : "Évaluation morphologique et agronomique de soixante populations marocaines des genres *Trifolium* et *Lotus* ", *Fourrages*, 204, 239-245

L'analyse de la variabilité des ressources génétiques collectées se base principalement sur les caractéristiques morphologiques, phénologiques et agronomiques de chaque génotype. En effet, grâce au processus de sélection naturelle, une espèce développe des stratégies de reproduction qui sont susceptibles de maximiser la persistance dans un milieu donné (NORMAN *et al.*, 2005). Ainsi, l'étude des caractères liés à la reproduction constitue une première étape dans les critères de sélection des plantes de pâturage pour expliquer le maintien et l'implantation des populations dans différentes régions, d'où l'intérêt de la présente étude, dont les objectifs sont :

- l'évaluation agronomique d'une collection de populations appartenant à 11 espèces de trèfle ou de lotier ;

- la quantification de la diversité disponible au sein des populations marocaines de *Trifolium sp.* et *Lotus sp.* de diverses origines géographiques en utilisant un certain nombre de caractéristiques morphologiques et agronomiques.

## 1. Matériel et méthodes

### ■ Présentation du matériel génétique

**Les 60 populations étudiées appartiennent à 11 espèces annuelles des genres *Trifolium* et *Lotus*. Elles proviennent de 12 sites marocains de différents étages bioclimatiques** et ont été collectées en 2004 dans différentes régions du Maroc par l'Institut National de

Espèce (et abréviation dans l'ACP)		Nombre de populations	Sites de collecte
<i>Trifolium arvense</i> L.	(a)	4	S4, S10, S11, S12
<i>Trifolium bocconeii</i> Savi	(b)	1	S1
<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	(c)	6	S1, S2, S3, S4, S12
<i>Trifolium cherleri</i> L.	(ch)	5	S4, S5, S8, S11, S10, S12
<i>Trifolium glomeratum</i> L.	(g)	8	S1, S2, S3, S4, S7, S11, S12
<i>Trifolium isthmocarpum</i> Brot.	(g)	11	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S10, S11, S12
<i>Trifolium resupinatum</i> L.	(r)	8	S2, S4, S5, S6, S7, S8, S10, S12
<i>Trifolium scabrum</i> L.	(sc)	2	S1, S2
<i>Trifolium stellatum</i> L.	(s)	5	S7, S8, S10, S11, S12
<i>Trifolium tomentosum</i> L.	(t)	8	S1, S2, S3, S4, S8, S10, S11, S12
<i>Lotus ornithopodioides</i> L.	(O)	3	S8, S9, S10, S12

**TABEAU 2 : Présentation des populations de *Trifolium* et *Lotus* collectées.**

**TABLE 2 : Presentation of the *Trifolium* and *Lotus* populations collected.**

Recherche Agronomique (INRA) de Rabat (tableau 1). Le tableau 2 présente les espèces étudiées, leur nombre de populations et les lieux de collecte.

### ■ Dispositif expérimental et variables mesurées

L'étude a été effectuée de novembre 2007 à avril 2008 dans la **station expérimentale de Guich à l'INRA de Rabat** (34°03' N, 06°46' O). Le sol est sablonneux, de pH 7,3, pauvre en matière organique (1,5%), avec des

Site	Localisation	m* (°C)	M* (°C)	pH du sol	P* (mm)	Topographie	Type de sol	Intensité du pâturage	Etage bioclimatique
S1	3 km au NW de Sidi Hajjaj vers Ras-el-Ain sur la route vers Settat	6,3	39,8	8,8	242	Plaine	Limon sablonneux	Importante	Semi-aride à hiver chaud
S2	10 km au NW de Ben Guerir vers Sebtdes-Brikyine	4,3	40,4	7,9	200	Plaine	Sablonneux	Nulle	Aride à hiver chaud
S3	6 km au N de Had-Harrara vers Oualidia	7,9	39,2	8,3	294	Plaine côtière	Sablonneux	Modérée	Semi-aride à hiver tempéré
S4	1 km au NE jonction Rabat vers Sidi-Allal-Bahraoui	4,8	29,9	6,0	399	Plaine côtière	Très sablonneux	Importante	Semi-aride à hiver tempéré
S5	3 km E de Kenitra sur la route vers Dar-Bel-Amri	4,8	31,6	6,1	399	Plaine	Sablonneux	Importante	Semi-aride à hiver tempéré
S6	5 km E de Sidi-Slimane vers Sidi-Kacem	4,3	32,5	7,2	320	Plaine inondable	Limon argileux	Nulle	Semi-aride à hiver tempéré
S7	2 km au N de Moulay-Bousselham sur la route vers Larache	6,0	32,0	6,5	552	Plaine côtière inondable	Limon sablonneux	Importante	Semi-aride à hiver tempéré
S8	17 km au N de Asilah sur la route vers Tanger	7,8	27,8	7,8	614	Côte	Limon argileux	Faible	Humide à hiver frais
S9	Marina à Smir entre Ceuta et Tetouan	9,1	27,7	9,0	650	Dune côtière	Sablonneux calcaire	Nulle	Sub-humide à hiver chaud
S10	23 km au S de Tetouan vers Chefchaouen	7,5	26,8	8,0	725	Colline	Limon	Modérée	Sub-humide à hiver frais
S11	16 km au S de Ain-el-Aouda entre Rabat et Rommani	5,3	35	7,3	480	Affleurement rocheux	Limon sablonneux	Modérée	Semi-aride à hiver tempéré
S12	8 km WSW de Khemiset vers Maaziz	5,3	34	7,0	400	Colline	Limon sablonneux	Importante	Semi-aride à hiver tempéré

\* m et M : températures minimales et maximales moyennes ; P : Pluviométrie moyenne annuelle

**TABEAU 1 : Localisation au Maroc et caractéristiques des sites de collecte de populations de *Trifolium* et *Lotus*.**

**TABLE 1 : Location in Morocco of the collection sites of *Trifolium* and *Lotus* populations, with their characteristics.**

Variable	Unité	Code	Description
Hauteur de plante	cm	HP	Moyenne de la hauteur des plantes, mesurée de la base de la tige à l'extrémité de l'inflorescence, le jour de la récolte
Taille de feuille	cm	TF	Largeur de la feuille, prise sur une feuille du nœud de la 1 <sup>ère</sup> fleur
Date de floraison	jour	DF	Nombre de jours de la germination au stade "50% de fleurs ouvertes"
Inflorescence par plante	nombre	IP	Poids total de graines par plante divisé par le poids moyen de graines par inflorescence
Semences par inflorescence	nombre	SI	Nombre de graines moyen par inflorescence (évalué sur 10 inflorescences choisies au hasard par plante)
Poids de 1 000 graines	mg	PMG	Poids de 1 000 graines
Production de semences par plante	g	PS	Poids total de toutes les semences par plante
Matière sèche	g/m <sup>2</sup>	MS	Production mesurée au stade de floraison

TABLEAU 3 : Description des variables morpho-phénologiques et reproductives mesurées.

TABLE 3 : Description of the morpho-phenological and reproductive characters measured.

teneurs modérées en phosphore (65 ppm) et en potassium (159 ppm). Cette station appartient au domaine bioclimatique sub-humide avec des variations semi-arides. Soumise à une double influence continentale et océanique, la pluviométrie moyenne varie entre 400 et 500 mm/an.

Les graines de chaque population ont été scarifiées et mises à germer dans des boîtes de Petri sur du papier filtre imbibé d'eau. Les plantules ont été transplantées au champ le 20 novembre au stade de la quatrième feuille. Le dispositif expérimental était constitué de **deux blocs aléatoires complets**, avec chacun **trois répétitions**. Chaque parcelle de 1 m<sup>2</sup> contenait 2 lignes (espacées de 20 cm) et 10 plantes. Avant la plantation, le sol a été fertilisé avec 45 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. L'irrigation a été réalisée par goutte à goutte.

Les **variables mesurées** sur chaque plante sont décrites dans le tableau 3. Elles ont été sélectionnées selon le descripteur d'ANDERSEN et ELLIS DAVIES (1984) de légumineuses fourragères. Les notations concernant le développement végétatif (hauteur de la plante, taille des feuilles) ont été prises périodiquement, à des stades précis. Les notations concernant la floraison, le nombre et la production en semences ont été effectuées régulièrement (tous les 2-3 jours). La mesure de la production de matière sèche a été réalisée pour chaque espèce au stade floraison.

Les données obtenues ont été soumises à une **analyse statistique** descriptive au niveau de l'espèce et de la population : la moyenne et le coefficient de variation ont servi à caractériser la tendance centrale et la dispersion de chacun des traits mesurés. La structure de la variation phénotypique a été examinée successivement par : i) une analyse de variance hiérarchique (Anova) séparant la variance observée en trois niveaux : entre espèces, entre populations au sein de la même espèce et entre régions de collecte, ii) une analyse en composantes principales (ACP) et iii) une classification hiérarchique (dendrogramme) permettant de révéler les similitudes entre les régions de collecte. Les moyennes ont été comparées par le test Newman-Keuls. L'ensemble de ces analyses a été réalisé au moyen des programmes SAS System (version 8) et Genstat 5 (version 4.1). Les tests de

variance n'ont été appliqués que sur les espèces ayant un nombre de populations  $\geq 3$  (*T. bocconei* et *T. scabrum* sont exclus vu le faible nombre de populations prélevées).

## 2. Résultats et discussion

### ■ Statistiques descriptives des traits morpho-phénologiques

#### ● Variation interspécifique

Des différences statistiques significatives existent entre les différentes espèces. L'identification de la discrimination des espèces est effectuée à partir de l'indice de Lambda de Wilks qui varie entre 0 (pas de discrimination entre les espèces) et 1 (existence d'une discrimination entre les espèces ; tableau 4). D'une façon générale, **les traits liés à la production de biomasse et au développement phénologique des plantes sont nettement plus variables que ceux liés au développement morphologique** (tableau 5).

La **date de floraison** (DF) montre que les espèces *T. arvense* et *T. bocconei* sont les plus précoces, tandis que *T. cherleri* et *T. glomeratum* sont les plus tardives, l'écart maximal entre les deux groupes atteignant 33 jours. Les autres espèces ont des durées de cycle intermédiaires.

Espèces	Lambda de Wilks	F	p
<i>T. arvense</i>	0,8537	4,62	0,0029
<i>T. campestre</i>	0,0034	6,03	0,0008
<i>T. cherleri</i>	0,0090	4,55	0,0031
<i>T. glomeratum</i>	0,3683	3,21	<0,0001
<i>T. isthmocarpum</i>	0,0040	12,85	<0,0001
<i>T. resupinatum</i>	0,0040	14,16	<0,0001
<i>T. stellatum</i>	0,0001	ε	<0,0001
<i>T. tomentosum</i>	0,3766	3,19	<0,0001
<i>L. ornithopodioides</i>	1,0000	ε	<0,0001

TABLEAU 4 : Test de signification de variation entre les espèces de trèfle et de lotier étudiées.

TABLE 4 : Significance test for the variations among the *Trifolium* and *Lotus* species studied.

La **production** (MS) révèle quatre groupes d'espèces : *T. isthmocarpum* a les valeurs les plus élevées, avec une moyenne de 1 020 g/m<sup>2</sup> ; en deuxième lieu, on rencontre *T. resupinatum*, *T. glomeratum* et *L. ornithopodioides*, avec une production moyenne à élevée ; le troisième groupe inclut *T. campestre*, *T. cherleri*, *T. scabrum* et *T. tomentosum*, alors que le quatrième groupe comprend *T. bocconei*, *T. stellatum* et *T. arvense* avec les valeurs les plus basses, entre 110 et 128 g/m<sup>2</sup>.

Les **variables morphologiques** ont révélé une supériorité de *T. isthmocarpum* par rapport aux autres espèces.

#### ● Variation intraspécifique

Les valeurs des traits étudiés pour chaque population au sein de chaque espèce ne sont pas détaillées ici ; seules leurs moyennes générales sont présentées (tableau 5).

**T. arvense et T. cherleri** : des différences hautement significatives existent entre les populations au sein de chacune de ces espèces pour les traits morphologiques. Les populations originaires des sites 4, 11 et 12 présentent des valeurs élevées concernant ces paramètres, tandis que le coefficient de variation de la date de floraison (DF) est faible, aux alentours de 5% pour les deux espèces.

**T. campestre** : la population 3 s'est distinguée par sa précocité pour les caractères phénologiques. Les populations du site 12 ont été les plus tardives. Concernant le développement végétatif, une meilleure croissance chez la population 4 a été remarquée comparativement aux autres. Elle a atteint une hauteur de 36 cm alors que les

autres n'ont pas dépassé 17 cm. Les résultats de l'analyse de variance ont montré des différences significatives pour l'ensemble des caractères, avec la constitution de 2 à 4 groupes de moyennes qui se chevauchent.

**T. glomeratum et T. resupinatum** : des différences significatives existent entre les populations de ces deux espèces pour l'ensemble des traits étudiés. Les caractéristiques morphologiques des plantes présentent des niveaux intermédiaires de variabilité, entre 20 et 30%. La date de floraison (DF) est le seul trait du développement des plantes avec une forte variabilité (40% et 48%).

**T. isthmocarpum** : des résultats très hautement significatifs caractérisent les populations de cette espèce avec la constitution en général de 3 à 9 groupes qui se chevauchent. La population 1 a été plus précoce que les autres, pour les caractères phénologiques étudiés. Le nombre de semences par inflorescence (SI) a présenté le plus grand coefficient de variation entre les populations (40%). Les variables morphologiques montraient des coefficients de variation intermédiaires, compris entre 10 et 23%.

**T. stellatum** : les populations de cette espèce ont été collectées sur les sites 7, 8, 10, 11 et 12. Aucune différence significative n'est enregistrée au sein des populations de cette espèce pour la majorité des traits étudiés.

**T. tomentosum** : la population 12 s'est distinguée par sa production, MS, élevée. Les populations 10 et 11 ont été les plus tardives. Les coefficients de variation de la production et du PMG étaient voisins ou supérieurs à 20%, tandis que ceux des variables morphologiques restaient inférieurs à 20%.

Espèce		HP (cm)	TF (cm)	DF (jours)	IP	SI	PMG (g)	PS (g)	MS (g/m <sup>2</sup> )
<i>T. arvense</i>	Moyenne*	52,20 <sup>bc</sup>	0,23 <sup>e</sup>	103,40 <sup>c</sup>	233,60 <sup>a</sup>	20,20 <sup>c</sup>	0,47 <sup>d</sup>	19,78 <sup>bc</sup>	128 <sup>e</sup>
	CV* (%)	48,93	25,77	4,98	21,23	16,91	9,19	17,26	9,72
<i>T. bocconei</i>	Moyenne	12,00 <sup>e</sup>	1,00 <sup>d</sup>	108,00 <sup>c</sup>	96,00 <sup>c</sup>	15,00 <sup>d</sup>	0,95 <sup>b</sup>	8,03 <sup>d</sup>	110 <sup>e</sup>
	CV (%)	11,01	10,09	5,972	13,57	13,98	10,08	28,7	6,36
<i>T. campestre</i>	Moyenne	26,47 <sup>de</sup>	2,20 <sup>c</sup>	135,00 <sup>ab</sup>	117,00 <sup>bc</sup>	15,70 <sup>d</sup>	0,68 <sup>c</sup>	27,47 <sup>b</sup>	254 <sup>cd</sup>
	CV (%)	11,01	10,09	5,972	13,57	13,98	10,08	28,7	6,36
<i>T. cherleri</i>	Moyenne	24,73 <sup>de</sup>	1,12 <sup>d</sup>	141,60 <sup>a</sup>	89,00 <sup>c</sup>	25,10 <sup>c</sup>	1,15 <sup>b</sup>	11,28 <sup>c</sup>	320 <sup>cd</sup>
	CV (%)	29,43	33,4	5,26	19,29	9,632	12,68	10,66	19,29
<i>T. glomeratum</i>	Moyenne	60,06 <sup>b</sup>	2,80 <sup>c</sup>	142,00 <sup>a</sup>	145,00 <sup>b</sup>	34,18 <sup>b</sup>	0,69 <sup>c</sup>	36,04 <sup>a</sup>	586 <sup>c</sup>
	CV (%)	30,02	19,73	48,53	10,32	15,27	24,63	24,97	6,874
<i>T. isthmocarpum</i>	Moyenne	82,7 <sup>a</sup>	5,92 <sup>a</sup>	134,00 <sup>ab</sup>	172,00 <sup>a</sup>	58,90 <sup>a</sup>	2,05 <sup>a</sup>	29,02 <sup>b</sup>	1 020 <sup>a</sup>
	CV (%)	22,98	10,18	17,92	31,18	39,65	24,71	21,81	22,27
<i>T. resupinatum</i>	Moyenne	60,35 <sup>b</sup>	2,00 <sup>c</sup>	131,50 <sup>ab</sup>	110,00 <sup>bc</sup>	33,33 <sup>b</sup>	1,07 <sup>b</sup>	32,31 <sup>a</sup>	482 <sup>c</sup>
	CV (%)	26,06	33,07	39,38	0,522	18,85	4,6	12,86	27,77
<i>T. scabrum</i>	Moyenne	23,40 <sup>de</sup>	1,00 <sup>d</sup>	121,60 <sup>b</sup>	78,00 <sup>d</sup>	19,20 <sup>cd</sup>	0,32 <sup>d</sup>	13,43 <sup>c</sup>	184 <sup>d</sup>
	CV (%)	12,53	0,08	13,49	0,02	2,67	6,33	0,02	12,91
<i>T. stellatum</i>	Moyenne	50,18 <sup>bc</sup>	0,80 <sup>d</sup>	137,00 <sup>ab</sup>	90,00 <sup>c</sup>	16,10 <sup>d</sup>	0,62 <sup>c</sup>	12,44 <sup>c</sup>	122 <sup>e</sup>
	CV (%)	12,53	0,08	13,49	0,02	2,67	6,33	0,02	12,91
<i>T. tomentosum</i>	Moyenne	38,83 <sup>cd</sup>	0,92 <sup>d</sup>	122,70 <sup>b</sup>	137,00 <sup>b</sup>	49,48 <sup>ab</sup>	0,59 <sup>d</sup>	17,52 <sup>bc</sup>	362 <sup>cd</sup>
	CV (%)	10,6	17,64	13,21	14,01	12,89	22,56	19,85	12,42
<i>L. ornithopodioides</i>	Moyenne	75,08 <sup>a</sup>	4,08 <sup>b</sup>	131,00 <sup>ab</sup>	94,83 <sup>c</sup>	18,08 <sup>cd</sup>	0,98 <sup>b</sup>	33,76 <sup>a</sup>	900 <sup>b</sup>
	CV (%)	14,02	14,26	13,79	13,49	18,82	20,53	61,25	13,55

\* Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas au seuil de 5% par le test Newman-Keuls ; CV : coefficient de variation

TABLEAU 5 : Analyse de variance et comparaison de moyennes des traits observés pour les espèces étudiées de trèfle et de lotier.

TABLE 5 : Analysis of variance and comparison of the averages of the characters observed in the Trifolium and Lotus species studied.



TABLEAU 6 : Comparaison des moyennes des variables morpho-phénologiques et reproductives des populations de *T. isthmocarpum* selon les sites d'origine.

TABLE 6 : Comparison of the averages of the morpho-phenological and reproductive characters in the populations of *T. isthmocarpum*, according to their sites of origin.

Sites de collecte	HP (cm)	TF (cm)	DF (jours)	IP	SI	PMG (g)	PS (g)	MS (g/m <sup>2</sup> )
S1	70,47b	4,70ab	16,67b	126,00d	56,00a	0,119c	31,17abc	860,20ab
S2	75,00b	4,12b	14,00c	120,00d	49,00a	0,124c	30,25abc	630,30b
S3	86,00b	4,10b	15,03c	113,04d	52,13a	0,116c	30,41abc	720,13ab
S4	91,02b	3,00b	14,00c	132,00d	64,00a	0,176bc	25,21bcd	1020,00a
S5	80,00b	4,33ab	18,00b	200,00c	62,83a	0,258b	35,00ab	1090,00a
S6	84,00b	5,40ab	19,00b	128,00d	60,00a	0,124c	38,33a	1078,70a
S7	90,00ab	4,00b	19,00b	129,00d	63,00a	0,125c	40,80a	1049,33a
S8	95,00a	6,00a	26,33b	133,00d	70,00a	0,361a	15,32d	1023,47a
S10	96,40a	6,70a	25,00b	140,00d	52,00a	0,233b	29,67abc	1017,00a
S11	60,00b	3,43b	37,00a	237,67a	55,33a	0,259b	25,67bcd	1058,80a
S12	78,53b	4,46ab	30,00a	331,00a	48,00a	0,199bc	19,99cd	978,20ab

\* Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas au seuil de 5% par le test Newman-Keuls

***L. ornithopodioides*** : l'analyse de variance intraspécifique a décelé des différences hautement significatives concernant les moyennes de la date de floraison (DF) et de la production de semences (PS) avec la constitution de 3 groupes se chevauchant entre eux. Cependant, les coefficients de variation de l'ensemble des traits morphologiques et phénotypiques étaient faibles et voisins de 14%.

Considérant l'ensemble des traits observés pour l'ensemble des espèces étudiées, *T. campestre* et *T. stellatum* présentent la variabilité la plus faible, alors que *T. isthmocarpum* a des coefficients de variation généralement élevés. Ceci peut être expliqué par une importante variabilité génétique.

### ■ Groupement des espèces selon leur cycle végétatif

La comparaison des moyennes de la date de floraison par le test Newman-Keuls révèle **trois groupes** :

- Un groupe à cycle court (moins de 110 jours) représenté par *T. arvense*, *T. glomeratum*, *T. isthmocarpum*, *T. resupinatum*, *T. scabrum* et *T. tomentosum* (une population pour chaque espèce).

- Un groupe à cycle long (plus de 150 jours) pour une population de *L. ornithopodioides*, *T. stellatum* et *T. campestre*, et deux populations de *T. glomeratum*.

- Un groupe à cycle moyen (entre 110 et 150 jours), représenté par l'ensemble des populations et espèces restantes.

### ■ Comportement morpho-phénologique et reproductif de *T. isthmocarpum* en fonction des origines de collecte

L'espèce *T. isthmocarpum* est la seule à avoir été collectée dans l'ensemble des sites, à part le site 9. Elle présente un bon développement végétatif et un **bon niveau de production**. Une comparaison entre les traits morpho-phénologiques et reproductifs et leur région d'origine a eu lieu. **Les caractéristiques morphologiques des populations varient selon leur région de collecte** (tableau 6). Par exemple, les populations en provenance

des sites 8 et 10 sont caractérisées par une hauteur (HP) élevée et la grande taille des feuilles (TF). Les populations des sites 2, 3 et 4 présentent une précocité de la floraison par rapport aux populations des autres sites ; elles sont suivies par les populations originaires des sites 1, 5, 6, 7, 8 et 10 (date de floraison moyenne) puis par celles provenant des sites 11 et 12, les plus tardives. Les populations précoces du site 2 ont une production faible de MS (en moyenne 630 g/m<sup>2</sup>). Toutefois, les populations à floraison moyenne ou tardive sont les plus productives, entre 860 et 1 090 g/m<sup>2</sup>.

NORMAN *et al.* (2005) ont constaté, en étudiant les stratégies morphologiques et reproductives d'un certain nombre de trèfles annuels, que les écotypes des différentes espèces de trèfle aux stratégies largement semblables forment un groupe homogène. Ils ont montré que les sites de collecte forment des mosaïques de micro-environnements différents, chacun privilégiant une combinaison différente de caractéristiques de la reproduction, combinaison qui permet ainsi le maintien de la diversité génétique d'un milieu à l'autre (ISSOLAH et KHALFALLAH, 2007 ; DI CASTRI, 1981).

### ■ Analyse en composantes principales et classification hiérarchique

#### ● Selon les populations

Une analyse synthétique basée sur les moyennes des variables observées au sein de chaque population est présentée en figure 1. Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales absorbent 75% de la variance totale. L'axe 1 est corrélé positivement à la production de MS, aux tailles des plantes (HP), de la feuille (TF), au nombre d'inflorescences par plante (IP) et à la production de semences par plante (PS). L'axe 2 est corrélé positivement au poids de 1 000 graines (PMG), à la date de floraison (DF) et au nombre de semences par inflorescence (SI). Les populations de ***T. isthmocarpum*** (i7, i8, i10, i11 et i12) originaires des sites S7, S8, S10, S11 et S12 forment un groupe qui se distingue par une biomasse élevée et une grande hauteur. Ces aires se caractérisent par une importante pluviométrie annuelle (entre 400 et 725 mm) et un pH du sol neutre.

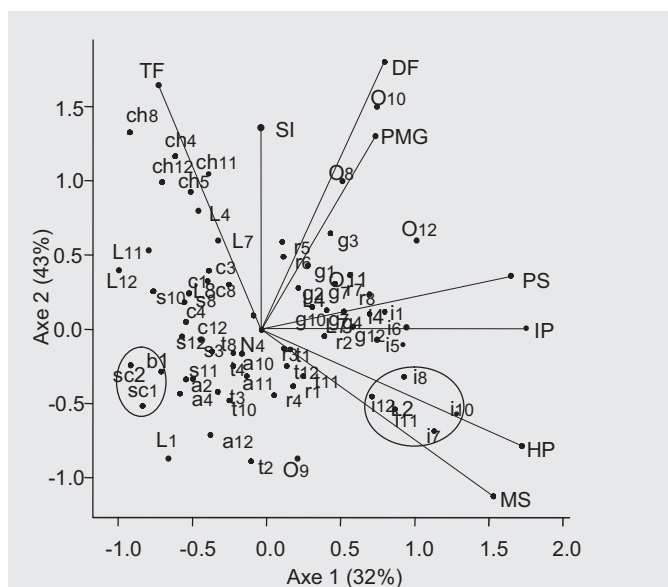


FIGURE 1 : Dispersion des populations de trèfle et de lotier dans le plan engendré par les deux premiers axes de l'ACP obtenue à partir des données morpho-phénologiques et reproductives des populations (abréviation de l'espèce, mentionnée au tableau 2, suivie du numéro du site de collecte).

FIGURE 1 : Dispersion of the *Trifolium* and *Lotus* populations in the plane created by the first two axes of the Principal Component Analysis obtained from the morpho-phenological and reproductive data of the populations (abbreviations of the species' name given in Table 2, followed by the collection site's number).

*T. isthmocarpum* est l'espèce la plus représentée dans la majorité des régions de collecte. En effet, *T. isthmocarpum* est connue pour l'importance de son aire de répartition vu sa variabilité génétique. **Son niveau de production peut être élevé sur différents types de sols (de sablonneux à argileux) ; par ailleurs, elle préfère les zones humides** (DEAR *et al.*, 2003), ce qui explique le regroupement des populations originaires des aires à importante pluviométrie. A l'opposé, *T. bocconei* et *T. scabrum* sont des espèces des zones arides (ABDELGUERFI et LAOUAR, 1999) ; elles n'ont été collectées que dans deux régions semi-arides à arides et à hiver chaud (sites 1 et 2) et de pluviométrie annuelle inférieure à celle des autres sites. Ces deux espèces, bien que collectées dans des sites éloignés par la distance, ont en commun de provenir de milieux écologiquement difficiles.

### ● Selon les espèces

Le **dendrogramme à 88% de similarité** - basé sur les paramètres édapho-climatiques de chaque région - (figure 2) les classe en **trois groupes principaux** :

- Le groupe A rassemble les sites 1, 2 et 3. Sur les 11 espèces collectées, seules 5 se trouvaient dans ces sites. Il s'agit de *T. campestre*, *T. glomeratum*, *T. isthmocarpum*, *T. scabrum* et *T. tomentosum*. Ces trois sites sont caractérisés par un pH élevé, de faibles précipitations annuelles et de hautes températures maximales.

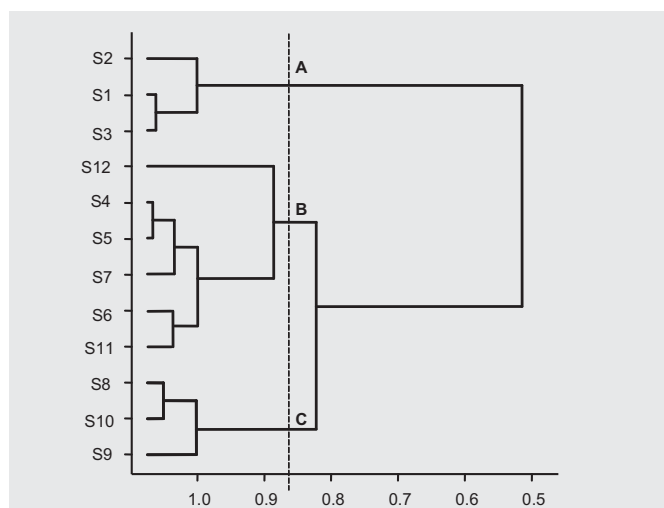


FIGURE 2 : Dendrogramme sur la base des traits édapho-climatiques illustrant la similarité des 12 sites de collecte.

FIGURE 2 : Dendrogram based on the edapho-climatic characters illustrating the similarities among the 12 sites of collection .

- Le groupe B réunit le plus grand nombre de sites, 4, 5, 6, 7, 11, et 12, caractérisés par un pH acide à neutre, une pluviométrie annuelle faible (à intermédiaire) et des températures maximales moyennes par rapport aux autres sites. Il regroupe la majorité des espèces étudiées : *T. arvense*, *T. campestre*, *T. cherleri*, *T. glomeratum*, *T. isthmocarpum*, *T. resupinatum*, *T. stellatum*, *T. tomentosum* et *L. ornithopodioides*.

- Le groupe C regroupe les sites restants, 8, 9 et 10, en deux sous-ensembles : d'une part le site 10 associé à la pluviométrie annuelle la plus importante, d'autre part les sites 8 et 9 avec des valeurs élevées de pH. Les températures minimales élevées - par rapport aux autres sites - sont une autre caractéristique de ce groupe. Les espèces rencontrées sont *T. cherleri*, *T. isthmocarpum*, *T. resupinatum*, *T. stellatum*, *T. tomentosum* et *L. ornithopodioides*. En outre, sur le site 9, une seule espèce a été collectée, *L. ornithopodioides*. L'intensité du pâturage pourrait expliquer l'absence des autres espèces, mais on constate qu'elle est nulle dans ce site (tableau 1). Ainsi, la présence de cette seule espèce dans le site 9 (situé sur une dune côtière) peut être expliquée par sa résistance à la salinité (NICHOLS *et al.*, 2010).

### ■ Structure de la variation phénotypique et morphologique

Les traits morpho-phénologiques des populations des 11 espèces étudiées les différencient nettement entre elles. La prépondérance de contrastes géographiques suggère que **la différenciation des populations reflète avant tout des différences de pression de sélection du milieu, plus sévères dans les sites 1, 2 et 3 du fait de la sécheresse**, intermédiaire dans les sites 8, 9 et 10, et plus modérées dans le reste des sites. Ces gradients écologiques se traduisent tout d'abord sur les traits

phénologiques des populations, par des floraisons plus précoces et des cycles plus courts là où le climat est plus rude. **La précocité constitue une adaptation certaine à la brièveté de la saison des pluies** dans les sites 1, 2 et 3. De nombreuses cultures annuelles, par exemple *Cicer arietinum* L. (VARSHNEY *et al.*, 2009) et *Trifolium alexandrinum* L. (FAROQ *et al.*, 2009) présentent ce type d'adaptation par évitement de la sécheresse ("drought escape") chez leurs variétés occupant des zones semi-arides. Un cycle de développement plus court et des conditions de milieu plus sévères expliquent aussi que toutes les variables de la production des populations de ces 3 sites (IP, PS et MS) soient inférieures à celles des autres populations. De même, LILLEY *et al.* (2001) notent chez l'espèce annuelle *Trifolium subterraneum* L. que les productions de graines et de biomasse sont beaucoup plus sensibles aux influences environnementales. En revanche, les paramètres morphologiques (HP et TF) sont peu sensibles aux variations environnementales.

## Conclusion

L'analyse de la variation phénotypique intra et interspécifique permet d'approcher la variation des traits morpho-phénologiques des plantes, et peut servir à l'interprétation du caractère plus ou moins adaptatif de ces traits. Ces traits quantitatifs complexes et sensibles à la variation environnementale apportent des informations sur les liens entre contraintes du milieu, traits de vie et capacités d'adaptation des populations. L'hétérogénéité intraspécifique au sein de l'ensemble de populations ressort nettement dans l'ACP. Le test d'Anova montre que le fait que les populations d'une même espèce soient également variables ou non dépend des traits testés. Certaines espèces comme *T. isthmocarpum* montrent une forte hétérogénéité entre populations pour la plupart des traits phénotypiques et reproductifs, alors que les populations des *T. campestre* et *T. stellatum* sont plus comparables entre elles.

Les différents comportements de croissance établis dans cette étude aussi bien pour *Trifolium* que pour *Lotus* laissent envisager des processus de sélection pour différentes utilisations. *T. isthmocarpum*, avec sa grande taille, son port dressé et son cycle végétatif moyen, et *L. ornithopodioides*, avec son bon niveau de production de MS, peuvent être utilisés en tant que culture fourragère (en culture pure ou en mélange). *T. stellatum*, *T. campestre* et *T. tomentosum*, originaires des sites 4, 8 et 12, de petite taille, avec une longue durée de floraison, peuvent être utilisés dans les prairies temporaires et permanentes. La population de *T. resupinatum*, originaire du site 10 (caractérisé par des températures basses à la fois pour le mois le plus froid et le mois le plus chaud), peut être proposée dans les zones à climat froid et sec du Maroc. Cette étude souligne l'importance de sélectionner pour une région donnée des cultivars parmi des populations issues de régions aux conditions édapho-climatiques voisines.

**Remerciements** : Nous tenons à remercier Fatima Gaboun de l'INRA - Rabat pour les analyses statistiques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELGUERFI A., LAOUAR M. (1999) : "Autoécologie et variabilité de quelques légumineuses d'intérêt fourrager et/ou pastoral : possibilités de valorisation en région méditerranéenne", *Pastagens e Forragens*, 20, 81-112.
- ANDERSEN S., ELLIS DAVIES W. (1984) : "Descriptor list for forage legumes", IBPGR, 84-191.
- BEALE P.E., BOUNEJIMATE M., LAHLOU A., MARR D.B., CHRISTIANSEN S. (1993) : "Distribution of annual Trifolium species in Morocco", *Aust. J. Agric. Res.*, 44, 1303-1310.
- DEAR B.S., SANDRAL G.A., PEOPLES M.B., WILSON B.C.D., TAYLOR J.N., RODHAM C.A. (2003) : "Growth, seed set and nitrogen fixation of 28 annual legume species on 3 Vertosol soils in southern New South Wales", *Aust. J. Agric. Res.*, 43, 1101-1115.
- DI CASTRI F. (1981) : "Mediterranean-type shrublands of the world", Di Castri F., Goodall DW, Specht RL ed., *Mediterranean-type shrublands*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 1-52.
- DING Y.L., HUMBLE G.A., LUDLOW E., DRAYTON M., LIN Y.H., NAGEL J., DUPAL M., ZHAO G., PALLAGHY C., KALLA R., EMMERLING M., SPANGENBERG G. (2003) : "Efficient plant regeneration and Agrobacterium-mediated transformation in *Medicago* and *Trifolium* species", *Plant Sci.*, 165, 1419-1427.
- FAROQ M., WAHID A., KOBAYASHI N., FUJITA D., BASRA S.M.A. (2009) : "Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management", *Sustainable Agric.*, 153-188 (DOI10.1007/978-90-481-2666-8-12).
- GARCIA DE LOS SANTOS G., STEINER J.J., BEUSELINCK P.R. (2001) : "Adaptive ecology of *Lotus corniculatus* L. genotypes: II. Crossing ability", *Crop Sci.*, 41, 564-570.
- ISSOLAH R., KHALFALLAH N. (2007) : "Analysis of the morpho-physiological variation within some Algerian populations of *Sulla* (*Hedysarum coronarium* L ; Fabaceae)", *J. Biol. Sci.*, 7, 1082-1091.
- JARITZ G. (1997) : "Production fourragère et environnement", Jaritz G., Bounejmate M. éd., *Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc*, 114-124.
- LILLEY J.M., BOLGER T.P., GIFFORD R.M. (2001) : "Productivity of *Trifolium subterraneum* and *Phalaris aquatica* under warmer, high CO<sub>2</sub> conditions", *New Phytologist*, 150, 371-383.
- NICHOLS P., LOI A., NUTT B., SNOWBALL R. REVELL C. (2010) : "Domestication of New Mediterranean Annual Pasture Legumes, Huyghe C. éd., *Sustainable use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding*, 137-141 (DOI 10.1007/978-90-481-8706-5-19).
- NORMAN H.C., COCKS P.S., GALWEY N.W. (2005) : "Annual clovers (*Trifolium* spp.) have different reproductive strategies to achieve persistence in Mediterranean-type climates", *Aust. J. Agric. Res.*, 56, 33-43.
- STENGLEIN S.A., ARAMBARRI A.M., COLARES M.N., NOVOA M.C., VIZCAINO C.E. (2003) : "Leaf epidermal characteristics of *Lotus* subgenus *Acmispon* (Fabaceae: Loteae) and a numerical taxonomic evaluation", *Can. J. Bot.*, 81, 933-944.
- VARSHNEY R.K., HIREMATH P.J., LEKHA P., KASHIWAGI J., BALAJI J., DEOKAR A.A., VADEZ V., XIAO Y., SRINIVASAN R., GAUR P.M., SIDDIQUE K.H.M., TOWN C.D. AND HOISINGTON D.A. (2009) : "A comprehensive resource of drought- and salinity responsive ESTs for gene discovery and marker development in chickpea (*Cicer arietinum* L.)", *BMC Genomics*, 10-523, DOI10.1186/1471-2164-10-523.

