Evaluation agronomique et adaptation de populations marocaines de luzerne (*Medicago sativa* L.)

A. Birouk¹, Y. Dattee², M. Sadiki¹ et P. Roumet³

¹ Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, BP 6202, Rabat, Maroc;

² INRA, Laboratoire d'amélioration des plantes, UA 115, Bât. 360, Université Paris-Sud, 91405 Orsay;

³ INRA, Domaine de Melgueil, 34130 Mauguio, France

(reçu le 1-4-1988, accepté le 5-1-1989)

Résumé — L'objectif du présent travail est d'évaluer le potentiel agronomique de populations traditionnelles de luzernes originaires de 5 régions du Maroc : Ziz, Dra, Dades, Demnate et montagne. L'évaluation porte sur des caractères de production à diverses saisons, des indices de qualité et d'incidence des maladies. L'étude est menée en parcelles pendant deux années dans deux environnements différents, l'un en milieu "oasis" à Errachidia, l'autre dans le périmètre semi-aride du Tadla. Outre les populations locales, 2 variétés vulgarisées African et Moapa sont incluses dans les essais. Le rendement moyen par coupe est de 3,12 tMS/ha à Errachidia et 2,8 tMS/ha au Tadla. La plus grande variation entre populations et entre origines géographiques est observée pendant les périodes de moindre production : en été et surtout en hiver. Les populations de Demnate sont productives dans les 2 milieux, leur sensibilité au stress thermique et au mildiou est plus prononcée que celle des populations d'oasis. Les populations de montagne ont manifesté une faible adaptation aux 2 milieux, avec une faible production en hiver et une sensibilité à la verse. Les populations des oasis ont des comportements diversifiés en hiver et en pleine saison, les plus productives proviennent de l'aval des vallées désertiques et d'oasis isolées. En référence à la production totale fournie par les variétés vulgarisées, certaines populations traditionnelles se sont révélées d'un niveau comparable. Ce résultat, obtenu sur du matériel qui n'a pas subi de sélection artificielle, laisse présager un gain par son exploitation rapide dans les schémas de sélection.

luzerne – évaluation agronomique – dormance hivernale – stress thermique – qualité fourragère – diversité

Summary — **Agronomical evaluation and adaptation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations collected in Morocco.** Two comparative trials have been done in order to evaluate alfalfa populations collected in Morocco. These populations originate from 5 geographic regions: Ziz, Dra, Dades, Demnate and "Mountains". "Mountains" includes sites of prospection of Alt Atlas. Evaluation has been done on productivity characteristics during all the seasons of exploitation. Quality indices and diseases effects have been estimated. Adaptive characteristics such winter dormancy and aestival growth have been studied in order to know the adaptability of the collected populations. Trials have been done in plots during two years and in two environments.

The first environment "Errachidia" corresponds to an oasis climate, the second one "Tadla" corresponds to a semi arid climate. Two cultivars, well known in North Africa, African and Moapa have been included as controls. Dry matter mean yield per cut amount 3,12 t/ha at Errachidia and 2,8 t/ha at Tadla. The most important variability between populations and geographic origins is observed during seasons of lower productivity : winter and summer.

Demnate populations show good productivity in the two environments. However they are more sensitive to high temperatures in summer and to mildiou disease than oasis populations. Mountains populations seem inadapted in the two environmental conditions of trials. They are sensitive to lodging and they have a low winter productivity. The most productive oasis populations originate from desertic valleys and isolated oasis.

A great range of variability have been observed for productivity and adaptability. Some methodological aspects of characterisation of forage crops populations are discussed. Compared to the two controls cultivars, some of the collected populations have the same yield. As this result is obtained on non selected populations, rapid genetic progress can be expected by selection.

alfalfa – agronomical evaluation – winter dormancy – high temperature stress – forage quality – variability

Introduction

Dans les études d'évaluation agronomique des ressources génétiques fourragères, l'un des objectifs principaux est la définition de l'adaptation des populations ou cultivars à des milieux de culture précis (Jones et Walker, 1983; Clements et al., 1983). L'étude de l'adaptation passe par la description de la variabilité du matériel et n'implique pas nécessairement des répartitions en classes précises (McNeil, 1984; Rindos, 1984).

Des études de caractéristiques adaptatives ont été faites sur des populations de luzerne prospectées dans différentes régions du monde (Yamada et Suzuki, 1972; Sarosi et Svab, 1979; Hycka et Benitez, 1979; Mrazkova et Vacek, 1981). A l'instar de ces études, le présent travail a pour objectif de répondre à 2 questions concernant des populations traditionnelles de luzerne :

- l'évaluation du potentiel agronomique de populations locales de luzerne prospectées au Maroc, par des essais en culture dense, menés dans deux environnements climatiques différents, avec les méthodes culturales généralement pratiquées sur place;
- la recherche d'une éventuelle relation entre les propriétés des populations et leur milieu d'origine.

La luzerne est, en effet, la principale plante fourragère cultivée au Maroc. Son ancienneté dans certaines régions, conjuguée à la diversité pédoclimatique des aires de sa répartition ont entraîné une diversification des modes de culture et d'exploitation, en fonction des régions (Birouk, 1988).

Matériel et méthodes

Matériel végétal et protocole expérimental

Le matériel végétal provient d'une prospection réalisée en 1981-1982 dans les principales zones de production traditionnelles (Birouk, 1989). Ce matériel comprend 20 populations traditionnelles réparties en 5 origines géographiques (Tableau I). Les 20 populations

locales ainsi que 2 cultivars témoins, African et Moapa, ont été installées en essai à petites parcelles d'évaluation (Jones et Walker, 1983) dans 2 environnements différents, l'un en milieu «oasis», dans une région présaharienne (Errachidia), l'autre en milieu semi-aride (Tadla).

Le Tableau II résume les principales caractéristiques des 2 milieux d'essais. Les paramètres climatiques sont des moyennes calculées à partir de séries enregistrées sur 30 ans. Le Tableau III donne une vue globale des conditions climatiques qui ont régné dans les 2 stations en hiver et en été pendant les 2 années d'essais. Le milieu «oasis» se distingue du milieu «Tadla» par des températures hivernales plus basses, une amplitude thermique journalière plus élevée et un air plus sec du fait de l'interaction permanente avec le désert qui libère une forte énergie advective, déterminant en grande partie l'évaporation.

Dans les 2 essais, les irrigations ont été effectuées en fonction des besoins de la culture, selon des calendriers standard (Villeneuve, 1964), à la dose annuelle de 12 000 m³ par hectare. Le volume de chaque irrigation a varié entre 600 et 1 200 m³ en fonction de l'apport d'eau par les précipitations et donc de la période de l'année. La périodicité des irrigations a varié de 30 jours au début et en fin de saison à 15 jours durant les grandes chaleurs. Un apport de phosphate et de potasse a été fait à la fin de l'automne dans les 2 lieux, sous forme de superphosphate de chaux à 45% (160 unités/ha au Tadla, 115 unités/ha à Errachidia) et de sulfate de potasse à 48% (48 unités/ha au Tadla, 96 unités/ha à Errachidia). Aucun traitement phytosanitaire n'a été pratiqué.

Le dispositif expérimental est un dispositif en blocs aléatoires complets à 4 répétitions dans chaque lieu. Les parcelles élémentaires ont des surfaces de 4,5 m² et 6 m², respectivement à Errachidia et au Tadla.

Caractères mesurés

On peut distinguer parmi les caractères mesurés des caractères de production (biomasse et semences), des indices de qualité fourragère, des caractères relatifs à l'état sanitaire ou concernant l'effet du froid (Tableau IV).

L'étude porte sur 15 coupes au Tadla et 11 coupes à Errachidia, effectuées durant 2 années consécutives (A₀ et A₁) après une coupe de régularisation. A Errachidia, l'exploitation a été arrêtée au mois d'août 1984, afin d'estimer par la suite le potentiel semencier. Le stade de coupe correspond au stade de début de floraison des cultivars témoins.

Tableau I. Populations traditionnelles de luzerne étudiées dans les 2 lieux.

Origine géographique	Nombre de populations	Nomenclature	Type de milieu
Ziz	5	Ziz 1 à Ziz 5	Oasis présaharienne
Dra	5	Dra 1 à Dra 5	Oasis présaharienne
Dadès	2	Dad 1 et Dad 2	Oasis présaharienne
Montagne	4	Mont 1 à Mont 4	Haut Atlas – Anti Atlas
Demnate	4	Dem 1 à Dem 4	Flanc atlantique du Haut Atlas

Tableau II. Caractéristiques climatiques moyennes des 2 milieux d'essais.

Station	Errachidia	Tadla
Climat	Saharien à hiver frais	Semi-aride à hiver frais
Altitude	1060 m	495 m
Latitude	31°54'N	32°18'N
Longitude	4°18'O	6°45'O
Pluviométrie*	P = 148 mm	P = 360 mm
moyenne annuelle (P)		
Caractéristiques* ombrothermiques	10 mois secs/an dont 9 avec $P \leq t$ et 1 avec $P \leq 2 t$ (t = température moyenne mensuelle)	5 mois secs dont 4 mois avec $P \leq t$ et 1 mois avec $P \leq 2 t$
Température*	M=40, 1°C, m=1°C, M-m=39, 1°C Amplitude journalière ~ 25°C	M=39, 6°C, m=3°C, M-m=36, 6 Amplitude journalière = 16-17°C
Humidité relative de l'air	H = 28,8%	H = 46,7%
Sol	Sol peu évolué d'origine alluviale, texture limono sableuse, pauvre en argile, pH = 7,9, teneur en calcaire total : 38,5%, teneur en matière organique : 0,48%	Sol brun isohumique profond à texture argilo limoneuse, pH = 8,0, teneur en matière organique : 2%

* Série de 30 années de mesures : 1951-1980 (Météorologie nationale et ministère de l'Agriculture du Maroc).

Traitement statistique des données

Dans une première étape, des analyses de variance univariates ont été effectuées. Le modèle adopté est un modèle hiérarchisé dans lequel le facteur population est un facteur subordonné au facteur origine géographique qui est fixe. Les moyennes des origines

géographiques sont comparées par la méthode du t -corrige.

Dans une seconde étape, des analyses en composantes principales ont été réalisées sur des groupes de caractères à partir des matrices de corrélations.

Résultats

Potentiel de production en biomasse des populations locales

Chez une plante fourragère, le rendement et la survie constituent les meilleures mesures de l'adaptation aux conditions culturales et environnementales. L'étude de la distribution de la production au cours d'une ou plusieurs années, et de l'aptitude à produire à différentes périodes peuvent apporter des informations supplémentaires (Jones et Walker, 1983).

1) Production totale de matière sèche

L'objet de l'estimation de la production totale de matière sèche est de préciser la fourchette de variation du potentiel de production des populations traditionnelles. Elle n'a pas un caractère décisif comme dans le cas des essais variétaux.

Le rendement moyen par coupe est supérieur en milieu «oasis», avec 3,12 tonnes de matière sèche par hectare et par coupe, contre 2,8 tonnes au Tadla. Les différences entre origines géographiques sont significatives et hautement significatives respectivement à Errachidia et au Tadla (Tableau V). L'effet population intra-origine,

Tableau III. Caractéristiques des saisons hivernale et estivale des 2 essais durant la période de l'étude.

Saison	Tadla	Errachidia
1) Hiver		
$\bar{m}$ (°C)	4,25	1,06
$\bar{M}$ (°C)	15,66	19,9
M-m (°C)	11,4	18,84
Nombre de jours de gel (nov., déc.)		
– avant la coupe	10	28
– après la coupe	6	15
Durée moyenne d'insolation (heures/jour)	6,78	7,93
2) Été		
$\bar{M}$ (°C)	41,72	37,20
$\bar{m}$ (°C)	19,20	19,78
M-m (°C)	30,46	28,49

$\bar{m}$ = moyenne des températures minimales journalières de la saison; $\bar{M}$ = moyenne des températures maximales journalières de la saison; M-m = amplitude thermique journalière moyenne de la saison.

Tableau IV. Caractères mesurés dans les 2 essais d'évaluation.

Natures des caractères	Caractères	Milieu d'observation Errachidia Tadla		Saison ou coupe concernée
		11 coupes	15 coupes	
Production de biomasse	– Hauteur de végétation	+	+	Toutes les coupes
	– Poids de matière verte	+	+	Toutes les coupes
	– Poids de matière sèche	+	+	Toutes les coupes
	– Taux de recouvrement	+	–	Coupes hivernales
	– Type de croissance	+	+	Coupes hivernales
	– Date de floraison	+	+	Printemps, été
Production de semences		+	–	juillet-septembre 84
Qualité	– Feuilles/Feuilles + tiges*	+	+	Toutes les coupes
	– M.A.T.*	+	–	Coupes d'hiver et d'été
	– A.D.F.*	+	–	Coupes d'hiver et d'été
Effet du froid	Nombres de touffes à extrémités flétries et desséchées	+	+	Coupe hivernale
Maladies	– <i>Pseudopeziza medicaginis</i> **	–	+	Coupe de printemps et d'été
	– <i>Uromyces striatus</i> (Notation 0-5)	–	+	Coupe de printemps et d'été
	– <i>Peronospora trifoliorum</i>	–	+	Coupe de printemps et d'été
Verse	(Notation 0-3)	–	+	Eté

* : mesures d'après les techniques de Lila *et al.* (1970), Hill et Barnes (1977), Guy (1978) et Elliott *et al.* (1972); MAT = Matières azotées totales, ADF = Acide détergent fibre (dosage des constituants pariétaux).

** : mesures selon USDA (1984).

+: mesure effectuée;

– : mesure non effectuée.

très hautement significatif dans les 2 essais, traduit l'existence d'une variabilité importante entre les populations d'une même région.

Le classement des moyennes des origines est similaire dans les 2 environnements ce qui traduit une faible interaction entre l'environnement climatique et l'origine géographique. Les luzernes originaires de Demnate et de Dra offrent en moyenne un potentiel de production de même niveau que celui des cultivars vulgarisés, African et Moapa (Tableau VI). Ce groupe dépasse de 15% environ les productions des populations de montagne et de Dadès. Les populations de la vallée du Ziz, bien que testées dans leur milieu d'origine dans l'essai d'Errachidia, n'atteignent que 88% du niveau des variétés témoins.

La gamme de variation de la production des populations rapportée à la production des témoins oscille de 78 à 111%. Les populations Dra 5 et Dem 3 sont les plus productives : 108 et 111% des témoins au Tadla, 106 et 103% à Errachidia. Les plus faibles rendements cumulés ont été ceux de la population Dad1 au Tadla (78%),

Dra 2 et Mont 4 à Errachidia (80% de la production des variétés témoins).

2) Répartition de la production saisonnière

Les Figures 1 et 2 montrent l'évolution de la production selon les coupes dans les 2 lieux d'essais. Pour comparer les résultats des 2 essais, les intervalles entre coupes ont été exprimés en somme des températures journalières ($\Sigma d^{\circ} \times \text{jour}$), et la production par hectare en kg de MS ($d^{\circ} \times \text{jour}$)⁻¹.

La supériorité de la production en milieu oasis, constatée sur la moyenne par coupe, est observée ici sur l'ensemble des coupes, mise à part la coupe hivernale. Cette supériorité est difficile à interpréter. D'une part, les teneurs en matière sèche sont plus élevées de 2 à 3 points à Errachidia, probablement en raison d'une lignification accentuée à stade comparable, d'autre part, l'amplitude thermique journalière, plus élevée en milieu oasis, pourrait favoriser la croissance. Selon Langer (1967) et Smith et Struckmeyer (1974), l'alternance de températures diurnes éle-

Tableau V. Comparaison des populations et des origines : résultats des analyses de variance dans les 2 essais.

Caractère	Errachidia			Tadla		
	Or.	Pop.	Bloc	Or.	Pop.	Bloc
Cumul de MS sur les 2 années	3,21*	4,61**	3,28**	5,16**	3,42**	2,40*
Hauteur à la coupe d'hiver	3,47*	4,27**	1,31	7,90**	17,91**	2,15*
Poids de MS à la coupe d'hiver	5,04**	3,84**	3,20	3,55*	1,20	4,03*
Hauteur 1 mois après la coupe d'hiver	35,44**	5,08**	1,62	10,89**	9,43**	3,97*
% Plantes en rosette	16,20**	2,85**	1,92			
MS estivale de 1 ^{re} année (3 coupes)	1,56	2,88**	3,80*	4,47**	1,79	4,66*
MS estivale 2 ^e année (3 coupes)				2,79*	2,78**	3,77*

* Significatif à 5%; ** Significatif à 1%.

vées et de températures nocturnes basses, active la croissance de la luzerne.

L'évolution saisonnière de la production reste cependant semblable dans les deux essais, avec un maximum de production au printemps, un creux estival à la coupe du mois d'août, une reprise en début de l'automne, suivie d'un creux hivernal, correspondant à la période de dormance végétative.

La plus grande variation entre populations a été observée pendant les périodes de moindre production en été et surtout en hiver.

a) *La chute de la production en hiver.* Les Tableaux V et VI mettent en évidence l'existence de différences significatives entre les perfor-

mances moyennes des origines pour divers paramètres de croissance et production hivernale. Dans les 2 lieux, les populations de Demnate gardent une croissance active alors que celles de montagne et de Dadès ont un ralentissement marqué de la production durant la période hivernale. Entre ces 2 extrêmes, les populations des vallées du Ziz et du Dra présentent des niveaux intermédiaires.

Le ralentissement de croissance est plus prononcé à Errachidia qu'au Tadla. Chez la luzerne, la température et le photopériodisme ainsi que leur interaction sont des facteurs du milieu qui jouent un rôle prépondérant dans la chute de production hivernale (Jung et Larson, 1972). Les 2 stations d'essai sont situées approximativement à la même latitude, et la durée d'insolation n'est que légèrement inférieure au Tadla. La différence de production dans les deux milieux pourrait donc être imputée en grande partie aux températures hivernales plus basses en milieu oasis (Tableau III).

b) *La chute de la production en été.* Il existe des différences entre les populations pour la somme des productions estivales (Tableau V et VI). Les différences ne sont pas nettement liées à l'origine géographique des populations. L'effet origine n'est pas significatif à Errachidia alors qu'au Tadla se dégage une légère supériorité des populations de Ziz et Dra par rapport aux populations de Demnate et aux cultivars témoins. Les premières réagissent vraisemblablement mieux aux effets des hautes températures. Bien que l'interaction ne puisse pas être testée statistiquement, il semble exister des différences de comportement entre les lieux d'essai ainsi que l'ont montré Hill et Baylor (1983). Ces différences

Fig. 1. Evolution de la production de matière sèche à Errachidia. Φ : valeur moyenne et intervalle de confiance.

Tableau VI. Evaluation dans les 2 lieux d'essai : performances moyennes de caractères de production.

Lieu d'essai	Errachidia						Talda					
Caractère	Ziz	Dra	Dem	Mont	Dad	T	Ziz	Dra	Dem	Mont	Dad	T
Cumul de MS sur les 2 années (t/ha)	33,0 ab	34,5 bc	36,4 bc	32,3 a	32,5 a	37,4 c	35,2 b	35,9 bc	37,8 c	31,7 a	30,8 a	36,3 bc
Hauteur à la coupe d'hiver (cm)	23,95 abc	24,30 abc	34,00 c	19,94 a	22,00 ab	31,75 bc	48,02 bc	47,38 abc	55,01 c	32,66 a	42,29 ab	53,35 c
Poids de MS à la coupe d'hiver (t/ha)	1,61 abc	1,70 abc	2,21 c	1,30 a	1,56 ab	2,19 bc	1,75 ab	1,92 bc	1,95 bc	1,45 a	1,67 ab	1,97 c
Hauteur 1 mois après la coupe d'hiver (cm)	7,18 a	7,88 a	13,95 b	6,96 a	7,02 a	14,29 b	41,2 a	40,6 a	53,5 b	24,8 a	44,8 a	51,4 b
% Plantes en rosette	5,95 bc	4,65 ab	1,00 a	13,13 cd	9,88 cd	1,06 a						
MS estivale 1 ^{re} année (3 coupes, t/ha)							4,84 b	5,06 b	4,50 ab	3,49 a	4,20 a	4,49 ab
MS estivale 2 ^e année (3 coupes, t/ha)							5,34 b	5,68 b	5,00 ab	4,58 a	3,95 a	4,97 b

Deux valeurs moyennes sous-titrées par une même lettre ne diffèrent pas de façon significative.

Fig. 2. Evolution de la production de matière sèche au Tadla. Φ : valeur moyenne et intervalle de confiance.

pourraient être dues au fait que les températures des mois de juillet-août étaient plus élevées au Tadla (Tableau III).

3) Approche synthétique de la variabilité

Le rendement en biomasse est influencé directement ou indirectement par l'évolution des paramètres de croissance, des indices de qualité fourragère et de réaction aux parasites et aux contraintes du milieu. L'étude des relations entre les caractères présente donc une grande importance dans la description de la variabilité.

a) *Relations entre les caractères mesurés.* Les Tableaux VII et VIII donnent les coefficients de

corrélation calculés entre différents caractères mesurés à Errachidia et Tadla. Dans les 2 milieux, les variables les mieux corrélées sont celles mesurées en hiver. Les coefficients de corrélation sont relativement plus élevés à Errachidia. Le froid plus rigoureux de ce dernier lieu pourrait encore expliquer cette légère différence.

Il y a une étroite liaison entre la hauteur de végétation et les poids de matière verte et de matière sèche. A Errachidia, ces caractères de production sont négativement corrélés à la qualité du fourrage produit (richesse en feuilles). Ces résultats sont en accord avec ceux de plusieurs

Tableau VII. Essai d'Errachidia : extrait de la matrice des corrélations.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
EH1	100																
EH2	89	100															
EH4	83	90	100														
EH5	91	91	94	100													
EH6	88	92	89	92	100												
EFF	31	30	36	43	37	100											
ROS	-48	-56	-48	-55	-54	-18	100										
SED	-27	-16	-42	-28	-28	-29	17	100									
DRE	76	77	73	84	81	35	-51	-22	100								
ES1	64	67	63	59	66	12	-34	-40	66	100							
ES1 + ES2	85	81	76	83	77	24	-47	-23	74	75	100						
F/T.1	-46	-46	-38	-57	-42	-36	40	-10	-35	-34	-47	100					
ADF1	65	71	57	65	60	18	-55	17	64	51	56	-69	100				
SEM	28	43	30	23	36	-27	-31	19	16	28	24	02	52	100			
ESH	76	85	73	80	83	36	-49	-03	75	52	59	-65	79	27	100		
EST	34	27	27	43	32	12	-52	08	26	05	43	-53	-53	-04	34	100	
MST	68	65	67	76	66	22	-62	-10	64	53	81	-68	64	17	63	81	100

Code des variables: 1 EH1: Hauteur 40 jours avant la 8^e coupe; 2 EH2: hauteur 30 jours avant la 8^e coupe; 3 EH4: hauteur 30 jours après la 8^e coupe; 4 EH5: hauteur 34 jours après la 9^e coupe; 5 EH6: hauteur à la 9^e coupe; 6 EFF: Effet du froid (notation); 7 ROS: nombre de touffes en rosettes; 8 SED: % de plantes à port semi-dressé; 9 DRE: % de plantes à port dressé; 10: ES1: poids de matière sèche à la 8^e coupe; 11 ES1 + ES2: somme des poids de matière sèche à la 8^e et à la 9^e coupe; 12 F/T1: rapport feuilles sur tiges mesuré en hiver; 13 ADF1: azote digestible des feuilles mesuré en hiver; 14 SEM: production de semences; 15 ESH: poids de matière sèche totale en hiver; 16 EST: poids de matière sèche totale 1^{re} année; 17 MST: poids de matière sèche totale 2^e année. Les estimations sont multipliées par cent. Les variables 1 à 13 et 15 sont mesurées en hiver.

Tableau VIII. Essai du Tadra : extrait de la matrice des corrélations.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TS7	100														
TP0	60	100													
TS0	74	91	100												
TE0	41	44	75	100											
TH8	43	46	53	41	100										
THH8	60	67	73	49	86	100									
TS8	59	84	75	30	51	76	100								
TFT8	-54	-58	-57	-27	-50	-74	-75	100							
TP1	60	52	55	27	24	26	50	-17	100						
TE1	41	39	60	70	42	40	25	-19	45	100					
TS1	75	85	94	68	52	65	74	-50	76	71	100				
TFT9	-15	-17	-29	-38	-18	-42	-20	34	26	-18	-12	100			
Verse	-27	-55	-52	-35	-14	-42	-54	52	-08	42	-43	-16	100		
PSE	-41	-16	-18	01	-46	-41	-28	33	-46	25	-30	-20	18	100	
TS14	44	35	56	65	31	37	27	-31	27	80	62	-24	-30	-21	100

Code des variables: 1 TS7: poids de matière sèche à la 7^e coupe; 2 TP0: production printanière de la 1^{re} campagne; 3 TS0: production de matière sèche de la 1^{re} campagne; 4 TE0: production estivale de la 1^{re} campagne; 5 TH8: hauteur à la 8^e coupe; 6 THH8: hauteur 50 jours après la 8^e coupe; 7 TS8: poids de matière sèche à la 8^e coupe; 8 TFT8: rapport feuilles/feuilles + tiges à la 8^e coupe; 9 TP1: production printanière de la 2^e campagne; 10 TE1: production estivale de la 2^e campagne; 11 TS1: production de matière sèche à la 2^e campagne; 12 TFT9: rapport feuilles/feuilles + tiges à la 9^e coupe; 13 Verse: % de plantes versées à la 11^e coupe; 14 PSE: attaque de *Pseudopeziza medicaginis*; 15 TS14: poids de matière sèche à la 14^e coupe. Les estimations sont multipliées par cent. Les variables 1 à 4 sont mesurées en 1^{re} année, les variables 5 à 8 sont mesurées en hiver.

auteurs (Guy, 1969; Lila, 1970; Génier et al., 1975; Hill et Barnes, 1977).

Durant la saison hivernale, les variables de productivité sont associées à un port dressé des plantes, alors que les mesures de la qualité fourragère sont positivement corrélées à la résistance au froid et au type de port en rosette. Larson et Smith, (1963) et Knipe et Stockton (1977) avaient obtenu des résultats similaires.

La production de semences à *Errachidia* ne présente pas de fortes liaisons avec les autres caractères, mis à part le taux d'acide détergent fibre (ADF) en hiver. Aucun élément d'interprétation ne peut être avancé pour expliquer cette liaison.

Au Tadla, quelques relations se dégagent entre les différentes productions saisonnières. Ainsi, la production à la coupe hivernale (TS8) est liée positivement aux productions printanières des deux campagnes (TP₀ et TP₁). Ces trois variables présentent des corrélations positives mais plus faibles avec les productions estivales (TE₀ et TE₁), bien corrélées entre elles ($r = 0,71^{**}$). Ce résultat confirme celui des analyses de variance sur les productions estivales au Tadla. Dans le même essai, la sensibilité à la verse et à *Pseudopeziza medicaginis* sont bien corrélées. L'humidité du sol peut sans doute favoriser les attaques du champignon sur les plantes versées.

b) *Analyses en composantes principales.* Sur la base des résultats précédents, des analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées sur les variables :

- sommes des productions saisonnières de matière sèche (printemps, été, automne, hiver);
- hauteurs de la végétation à chaque coupe et hauteurs mesurées toutes les deux semaines en hiver;
- rapport de chaque production saisonnière à la production totale de la population, afin de tenir compte de la répartition saisonnière de la production;
- indices de qualité fourragère (matière azotée totale, acide détergent fibre, rapport de la quantité de feuilles à la quantité de feuilles et de tiges), d'incidence des maladies, de verse;
- production de semences.

L'interprétation des composantes, effectuée sur la base de leurs corrélations avec les variables de départ, permet de leur donner une signification biologique. Deux types d'analyse ont été faits, les premières sur le comportement global pendant toute la durée de l'étude, les autres sur la durée de l'étude, hormis la saison hivernale.

• Comportement global des populations pendant la durée de l'étude. Pour l'étude en milieu oasis, l'ACP a porté sur 43 variables. Les 2 premières composantes principales expliquent 65,6% de la variabilité totale (Fig. 3). La première composante est un indice de croissance et de production en hiver et en pleine saison. Elle oppose les populations les plus productives (Dem 1 à 4, Dra 5, Ziz 5, African, Moapa) au reste des populations, en particulier Mont 4, Ziz 1, et Dra 4, moins productives et à faible croissance hivernale, mais résistantes au froid et meilleures pour les indices de qualité. La seconde composante permet de distinguer les populations qui se sont mieux comportées aux premières coupes suivant l'installation de l'essai qu'aux coupes suivantes (Ziz 5, Mont 1, Dra 1). Elle permet aussi d'affiner la discrimination faite par l'axe 1 selon l'importance relative de la première ou de la seconde coupes effectuées pendant l'hiver. Dans le groupe productif, les populations Ziz 5 et Dra 5 ont, en effet, relativement mieux repris leur croissance à la suite de la première coupe hivernale que les populations Dem 1, Dem 4, dont la production hivernale est surtout due à la première récolte (30 décembre 1983). Entre ces 2 sous-groupes, la population Dem 3 semble réaliser un équilibre dans la production hivernale par un compromis entre la croissance et la sensibilité au froid. L'ACP concernant les données enregistrées au Tadla a porté sur 46 variables. La première composante est un indice de croissance et de production durant toute la durée de l'étude (Fig. 4). La séparation entre les populations est moins nette que dans le milieu oasis. Ce résultat est vraisemblablement dû à l'hiver moins rigoureux du Tadla.

Fig. 3. Comportement des populations à Errachidia : projection sur le plan 1-2 de l'ACP. Signification biologique des composantes principales. Axe 1: sens positif: production de MS cumulée sur les 2 années, croissance et production hivernale; sens négatif : % de plantes en rosette, résistance au froid, qualité en hiver (F/T, MAT) élevée, qualité (F/T, MAT) à la coupe de juin 1984; – axe 2 : sens positif : production totale en MS en 1983, contribution élevée de la 8^e coupe dans la production hivernale, sens négatif : contribution plus importante de la 2^e coupe dans la production hivernale (effet dépressif de la coupe d'hiver), sensibilité au froid.

Fig. 4. Comportement des populations au Tadla: projection sur le plan 1-2 de l'ACP. Axe 1: sens positif: production totale sur les 2 années, production hivernale et sensibilité au froid; sens négatif: forte attaque du *Pseudopeziza medicaginis* et verse au printemps 1985, qualité (F/T) en hiver et en été; axe 2: sens positif: bonne contribution de la production estivale (1984 et 1985) dans la production totale, sens négatif: forte contribution de la production printanière dans la production totale, précocité au printemps 1985 et sensibilité au mildiou.

On peut noter le bon comportement de toutes les populations de Demnate, mais aussi de Ziz 1 et Dra 5. Les populations de montagne et de Dadès, moins productives également au Tadla, se distinguent selon le premier axe par une plus grande richesse en feuilles, mais aussi par une attaque élevée de *P. medicaginis* et une forte verse au printemps de la seconde année.

Selon l'axe 2, les populations de Demnate et 3 populations de montagne sont précoces mais sensibles au mildiou, et présentent la plus forte contribution de la production printanière dans la production totale. La plupart des populations d'oasis se regroupent du côté positif du même axe, en raison d'une meilleure contribution de la production estivale dans la production totale.

• Etude en dehors de la saison hivernale. Les variables mesurées en hiver du fait de leur forte contribution, peuvent occulter la variabilité du comportement pendant les autres saisons. Pour cette raison, des ACP ont été réalisées sur les caractères mesurés seulement en pleine saison de végétation. En milieu oasis, la projection sur le premier plan (63% de la variabilité totale, Fig. 5) permet d'observer une distribution continue des populations selon l'axe 1 qui est un axe de croissance et production. Les populations de Demnate, Dra 5 et Ziz 5 gardent cependant une relative supériorité. Elles restent opposées aux populations les moins productives mais qui présentent les meilleurs indices de qualité. Selon l'axe 2, on peut distinguer du côté positif les populations ayant donné les rendements semenciers les plus élevés. Ceux-ci varient de 216 à 650 kg par ha. La valeur maximale étant observée chez les populations Dra 2, Dem 1 et Ziz 3.

Fig. 5. Comportement des populations à Errachidia en dehors de l'hiver: projection sur le plan 1-2 de l'ACP. Axe 1: sens positif: croissance et production (en dehors de l'hiver), sens négatif: bonne part de la production estivale de 1983 dans la production totale, bonne qualité (F/T, MAT) à l'été 1984; axe 2: sens positif: production de semences, contribution de la production printanière dans la production totale, sens négatif: contribution de la production estivale de 1984 dans la production totale, bonne production totale en 1983.

L'ACP faite sur les données recueillies au Tadla en dehors de l'hiver n'apporte pas d'informations supplémentaires, mis à part que selon l'axe 2 (contributions printanières et estivales), on note un regroupement des populations en relation avec leurs origines géographiques. Ce résultat confirme ceux de l'analyse de variance sur la production estivale.

Discussion

Quelques questions de méthodologie

Dans les essais d'évaluation des ressources génétiques de luzerne, certains auteurs ont donné un regain d'intérêt aux analyses univariates (Hill et Rosenberger, 1985). Cependant, les analyses caractère par caractère ou les analyses du rendement cumulé qui en est la résultante, ont une certaine limite dans le cas de la luzerne, plante fourragère pérenne. La question est en effet compliquée pour 2 raisons :

— en tant que plante fourragère, elle est évaluée pour la biomasse totale;

— sa nature pérenne rend difficile de préciser la frontière entre les critères de caractérisation et d'estimation de la valeur «potentielle» d'une population, quand des caractères comme la croissance, la production à différentes saisons, la précocité, le type de croissance ou la qualité sont examinés. La performance à un moment donné reflète en effet à la fois les conditions présentes et les séquelles du passé. A ce propos, les luzernes de montagne, par exemple, ont montré une performance faible, comparativement aux

moyennes des populations des autres origines. Il faut préciser que cette performance est réalisée dans deux sites et sous un rythme d'exploitation différent de leur milieu d'origine (Birouk, 1989). En particulier, les luzernes originaires de montagne ne sont pas habituellement exploitées en hiver. Le rythme imposé et l'exploitation hivernale de ces luzernes pourraient avoir provoqué des effets résiduels sur les autres coupes.

Ces considérations justifient l'intérêt de l'utilisation des méthodes d'analyse multivariées dans l'évaluation des ressources génétiques de luzerne. Plusieurs auteurs ont eu recours à ces méthodes pour l'étude des caractères agronomiques chez cette espèce, en vue de la caractérisation (Yamada et Suzuki, 1972; Sarosi et Svab, 1979), de la sélection (Rod et Tosovsky, 1975) ou de l'étude de la relation du rendement avec les facteurs du milieu (Waddington, 1974).

Potentiel agronomique et variabilité des populations traditionnelles pour la distribution saisonnière de la production

Sur la base de la production totale obtenue sous le rythme d'exploitation suivi, une importante variabilité a été mise en évidence entre les populations traditionnelles étudiées. L'importance des différences entre les origines géographiques varie selon que l'on considère la production cumulée pour toute la durée de l'étude ou sur des périodes déterminées.

Pour la production totale, certaines populations traditionnelles se sont révélées d'un niveau comparable à celui des cultivars vulgarisés. Elles sont originaires de la localité de Demnate, des vallées désertiques ou de certaines oasis isolées (Dra 5, Ziz 5, Ziz 1 au Tadla surtout). Ce résultat obtenu sur un matériel végétal qui n'a pas subi de sélection artificielle laisse présager un gain rapide au cours du schéma d'amélioration. Le même matériel végétal mériterait d'être mis en comparaison avec les cultivars vulgarisés pour d'autres critères, tels que le rendement en graines ou la résistance aux maladies.

Des différences entre les populations et entre les origines géographiques ont été notées pour la distribution saisonnière de la production particulièrement en hiver et en été. Chez la luzerne, on distingue généralement 2 types de dormance : la dormance hivernale et le ralentissement de la croissance estivale (Jung et Larson, 1972).

1) La dormance hivernale

Le phénomène de repos hivernal a été décrit très tôt chez la luzerne (Steinmetz, 1926). Il est imposé à la plante par des conditions environnementales défavorables. Les températures basses, inférieures au zéro de végétation de la luzerne,

une photopériode courte ainsi que l'interaction entre la température et le photopériodisme jouent un rôle prépondérant (Fig. 6). Une variabilité importante existe entre les cultivars pour la durée du repos végétatif qui est en relation avec leur origine géographique et/ou leur position dans le complexe *Medicago sativa-falcata*. Dans certains pays à hivers sévères, la sélection de variétés à faible repos hivernal a très sensiblement contribué à l'augmentation de la production fourragère (Dessureaux, 1970). Cependant, le niveau de dormance hivernale d'un même cultivar et dans un même milieu varie selon le mode d'exploitation et les techniques culturales. Les mécanismes d'adaptation à un environnement à hiver rigoureux sont nombreux. Ils induisent dans la majorité des cas des modifications d'ordre métabolique et/ou morphologique (Fig. 6).

Les populations traditionnelles, testées dans 2 lieux différant par la rigueur de l'hiver, ont montré une gamme de variabilité continue pour le comportement hivernal. Cette gamme comprend aussi bien des populations ayant manifesté un ralentissement accentué de croissance (populations de montagne dans les 2 lieux, de Dadès à Errachidia) que des populations dont la croissance est restée active (Demnate, Dra 5, Ziz 4). Les premières sont résistantes au froid et riches en protéines, les secondes présentent une variabilité pour leur degré de sensibilité au froid.

La valeur potentielle des luzernes originaires de Demnate, mise en évidence par l'étude en hiver et en pleine saison, confirme les résultats de recherches antérieures (Villax, 1963; Couranjou, 1964; Anonyme, 1972). Chacun de ces auteurs avait testé une seule population de cette localité, probablement la même. Nos résultats montrent l'existence d'une relative homogénéité entre les populations de cette origine géographique, qui reste donc un réservoir vivant d'un matériel végétal performant. Les populations de Demnate ont cependant montré une sensibilité au mildiou à la fin du printemps au Tadla.

Les populations des vallées présahariennes ont des comportements diversifiés en hiver et en pleine saison. Cette variation n'est pas en relation directe avec les sites de leurs prélèvements, ce qui confirme les résultats des enquêtes menées *in situ* (Birouk, 1989). Les populations les moins dormantes en hiver proviennent cependant de l'aval des vallées et d'oasis isolées (Ziz 4, Ziz 5, Dra 5), lieux où l'exploitation hivernale est courante. La reprise de croissance de ces dernières populations après la première coupe hivernale à Errachidia a été plus rapide que celles des populations de Demnate, ce qui laisse supposer qu'elles sont plus résistantes au froid.

Fig. 6. Facteurs agissant directement ou indirectement sur la croissance hivernale. Mécanismes d'adaptation. Les numéros entre parenthèses renvoient aux références bibliographiques.

Références

- [1] Barnes D.K., Bingham E.T., Murphy R.P., Hunt O.J., Beard D.F., Skrala W.H. & Teuber L.R. (1977) *USDA Tech. Bull.* 1571
- [2] Bula R.J. (1972) *Crop Sci.* 12, 683-686
- [3] Demarly Y. (1957) *Ann. Amélior. Plant.* 3, 247-273
- [4] Feltner K.C. & Massengale M.A. (1965) *Crop Sci.* 5, 585-588
- [5] Gist G.R. & Mott M.B. (1957) *Agronomie (Paris)* 49, 33-36
- [6] Hodgson H.J. (1964) *Crop Sci.* 4, 302-305
- [7] Jung G.A. & Larson K.L. (1972) In: *Alfalfa Science and Technology* (Hanson, ed.) *Am. Soc. Agron.*, pp. 185-210
- [8] Knipe W.J. & Stockton L.M. (1977) *Crop Sci.* 17, 327-328
- [9] Kohel R.T. & Davis R.L. (1960) *Agron. J.* 52, 234-237
- [10] Langer R.H.M. (1967) *The Lucerne Crop*. Langer
- [11] Larson K.L. & Smith D. (1963) *Crop. Sci.* 3, 234-236
- [12] Lee C.T. & Smith D. (1972) *J. Sci. Food. Agr.* 23, 1169-1181
- [13] Massengale M.A. & Melder J.T. (1958) *Agron. J.* 50, 377-380
- [14] Mayer R., Vincent A. & Ecochard R. (1951) *Ann. Amélior. Plant.* 11, 1-46
- [15] Nelson N.T. (1925) *J. Am. Soc. Agron.* 17, 100-113
- [16] Nelson C.J. & Smith D. (1969) *Crop Sci.* 9, 589-591
- [17] Seth J. & Dexter S.T. (1958) *Agron. J.* 50, 141-144
- [18] Shih S.C., Jung G.A. & Shelton D.C. (1965) *Crop Sci.* 5, 307-310
- [19] Smith D. (1961) *Can. J. Plant. Sci.* 41, 244-251
- [20] Smith D. (1970) *Agron. J.* 62, 520-523
- [21] Smith D. & Struckmeyer B.E. (1974) *Crop Sci.* 14, 433-436
- [22] Sprague M.A. & Fuellman R.F. (1941) *J. Am. Soc. Agron.* 33, 437-447
- [23] Steinmetz F.H. (1926) *Univ. Minnesota. Tech. Bull.* 38
- [24] Vezina L. & Paquin R. (1982) *Physiol. Veg.* 20, 1, 101-109
- [25] Washington D.L. (1933) *J. Agron. Res.* 46, 6, 483-515
- [26] Woolley D.G. & Wilsie C.P. (1961) *Crop. Sci.* 1, 165-167

2) Le ralentissement estival de la croissance

Dans les régions à étés relativement chauds, la luzerne manifeste un ralentissement estival pouvant aller jusqu'à la dormance, phénomène dénommé *summer slump* par les auteurs anglosaxons (Robinson et Massengale, 1967; Evenson et Kumbauch, 1972). L'amplitude thermique, ainsi que la durée et le degré d'élévation de la température, sont autant de conditions qui jouent sur l'intensité des contraintes thermiques subies par la plante (McWilliams, 1980) et qui se manifestent chez la luzerne par différents effets (Fig. 7). De la même façon que pour les basses températures, des différences entre cultivars ou entre génotypes pour la tolérance aux hautes températures ont été notées (Fig. 7). Ces différences sont cependant peu nettes, en raison notamment de la difficulté de tester chez la luzerne ce type de réaction indépendamment de la tolérance à la sécheresse. Le développement de la tolérance au stress thermique a d'ailleurs été inhérent à la sélection naturelle pour la tolérance à la sécheresse, car de hautes températures sont associées à de faibles humidités du sol et de l'air dans les aires de culture de la luzerne (Jung et Larson, 1972).

Le ralentissement estival de la croissance, observé chez les populations marocaines, est de moindre ampleur que celui enregistré durant la période hivernale. Il est aussi moins nettement en relation avec l'origine géographique. Cependant, les populations des oasis ont manifesté en moyenne une légère supériorité au Tadla, par rapport aux populations de Demnate et de montagne. La plaine du Tadla est connue pour ses fortes chaleurs estivales. Clavier (1964) y avait déjà noté des différences de réaction aux températures élevées entre cultivars de luzerne, parmi lesquels une population de Demnate avait manifesté une légère sensibilité à la chaleur. Sous la réserve d'une confirmation ultérieure, les résultats présentés ici semblent cohérents avec les caractéristiques des lieux de collecte des populations. Celles qui sont originaires des oasis sont, en effet, plus exposées aux risques de la sécheresse estivale et de la sécheresse physiologique induite par la salinité (Birouk, 1989).

Jung et Larson (1972) avaient conclu à l'existence d'une certaine similitude entre les mécanismes permettant la protection contre le stress thermique et ceux induisant la résistance au froid chez la luzerne. Cette conclusion avait été suggérée par quelques résultats de nature physiologique (Tysdal, 1933), ou relatifs à la plante entière (Feltner et Massengale, 1965). Nos résultats ne montrent pas de relation claire entre les comportements estival et hivernal des populations, et en moyenne, les corrélations entre les produc-

Fig. 7. Effets des hautes températures sur la production estivale de la luzerne. Les numéros entre parenthèses renvoient aux références bibliographiques.

Références

- [1] Bula R.J. (1972) *Crop Sci.* 12, 683-686
- [2] Chen H.H., Shen, Z.Y. & Li P.H. (1986) *Crop. Sci.* 22, 719-725
- [3] Evenson P.D. & Kumbauch M.D. (1972) *Agron. J.* 64, 2, 154-157
- [4] Lee C.T. & Smith D. (1972) *J. Sci. Food. Agron.* 23, 1169-1181
- [5] Nelson C.J. & Smith D. (1969) *Crop. Sci.* 9, 589-591
- [6] Robinson G.R. & Massengale M.A. (1967) *Crop. Sci.* 7, 394-395
- [7] Rogers U.E. (1969) *Field. Sta. Rec., Csiro*, 8, 37-44
- [8] Sato K. (1971) *Proc. Crop. Sci. Soc. Jpn.* 40, 120-126
- [9] Tysdal H.M. (1933) *J. Agr. Res.* 46, 483-515
- [10] West S.H. & Prince G.M. (1960) Alfalfa persistence studies. *Crop. Sci., Soc. Florida Proc.* 20, 93-98

tions des 2 saisons sont faibles. Les conclusions de Jung et Larson (1972) ne sont donc pas confirmées ici.

Conclusion

L'objectif était de rechercher l'adaptation des populations traditionnelles à des milieux de culture précis. En considérant les rendements total et saisonnier comme de bons indicateurs de cette adaptation, il est possible de distinguer quelques catégories de populations :

- les populations de montagne, particulièrement celles originaires du Haut Atlas se sont montrées peu adaptées aux pratiques culturales et à l'environnement des 2 milieux d'essais, par leur faible productivité et leur sensibilité aux maladies et à la verse. Il en est de même pour les populations de Dadès;
- les populations de Demnate semblent posséder une large capacité d'adaptation. Leurs perfor-

mances sont satisfaisantes même dans le milieu «oasis». Le test au milieu «Tadla», plus proche de leur milieu d'origine a révélé néanmoins leur sensibilité aux températures élevées, plus prononcée que chez les populations d'oasis, ainsi que leur sensibilité au mildiou;

- les réactions des populations d'oasis sont très diversifiées. L'importance de l'interaction entre le génotype et le milieu varie selon les populations;
- d'une façon plus générale les caractères de dormance hivernale semblent en relativement bon accord avec l'origine géographique des populations et les rythmes d'exploitation traditionnels.

Ces résultats ont 2 limites évidentes :

- la durée de l'étude est courte pour une plante comme la luzerne, chez laquelle les différences entre les performances annuelles sont bien connues (Hill et Baylor, 1983). En particulier au Maroc, la longévité est un caractère assez recherché, surtout dans les oasis présahariennes (Birouk, 1989);
- bien que l'un soit représentatif du milieu oasis, et l'autre des périmètres méridionaux où la luzerne est très cultivée, 2 milieux d'essais sont insuffisants. Le test des mêmes populations dans un milieu aux conditions culturales et environnementales plus proches de celles régnant en montagne apporterait peut-être des résultats différents. Selon Jones et Walker (1983), la sélection des sites d'essais des ressources fourragères est plus fréquemment effectuée selon la commodité que selon la représentativité. Dans le cadre de cette étude, la représentativité des sites de prospection a été recherchée. Cependant, pour les populations de montagne le problème était de trouver une station à la fois représentative des conditions montagnardes et régulièrement accessible pour un suivi continu et répété, contrainte supplémentaire. Il est donc possible que ces populations aient été défavorisées dans les 2 sites d'évaluation et en partie par le mode d'exploitation.

Par ailleurs, pour avoir une image plus complète de l'ajustement biologique des populations à la diversité des milieux d'autres facteurs tels que le type de sol ou les conditions culturales seraient à prendre en compte. Ils nécessiteraient toutefois d'échantillonner parmi les populations récoltées pour rendre l'expérimentation réalisable.

Qu'elle soit ou non en relation avec l'origine géographique, la diversité du comportement agronomique des populations est importante et confirme bien l'originalité du matériel prospecté et sa valeur agronomique.

Références

- Anonyme (1972) Cv Demnate. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*
- Barnes D.K., Bingham E.T., Murphy R.P., Hunt O.J., Beard D.F., Skrala W.H. & Teuber L.R. (1977) Alfalfa germplasm in the United States : genetic vulnerability use, improvement, and maintenance. *USDA Tech. Bull.* 1571
- Birouk A. (1989) Collecte de populations traditionnelles de luzerne au Maroc : Caractérisation pédoclimatique des régions prospectées et recherche de caractères adaptatifs. *Plant. Genet. Resour. Newsl.* (sous presse)
- Clavier C. (1964) Le potentiel de la luzerne Provence. *Ann. Amélior. Plant. Paris* 14, 3, 271-294
- Clements R.J., Hayward M.D. & Byth D.E. (1983) *Genetic Adaptation in Pasture Plants in Genetic Resources of Forage Plants.* (McIvor and Bray, eds.) Csiro, pp. 101-116
- Couranjou J. (1964) Essai de classification physiologique des luzernes en fonction de leur comportement et de leur adaptation en différents milieux algériens. 1^{re} et 2^e partie. *Fourrages* 21, 127-142
- Dessureaux L. (1970) Breeding alfalfa for yield. A myth or a challenge. *Forage Not.* 16, 22-24
- Elliot F.C., Johnson I.J. & Schonhorst M.H. (1972) Breeding for forage yield and quality. *In : Alfalfa Science and Technology.* (Hanson, ed.) pp. 319-333
- Evenson P.D. & Kumbauch M.D. (1972) Influence of soil temperature on the alfalfa regrowth. *Agron. J.*, 64, 2, 154-157
- Feltner K.C. & Massengale M.A. (1965) Influence of temperature and harvest on growth, level of carbohydrates in the roots, and survival of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Sci.* 5, 585-588
- Genier G., Guy P. & Porcheron A. (1975) Critères de rendement chez la luzerne. *Fourrages* 62, 36-37
- Guy P. (1969) Relation between quality and yield in luzerne. Eucarpia Fodder crops section. *Welsh Plant Breed. Stn Aberystwith.*, 51-55
- Guy P. (1978) *Opération protéines végétales. Luzerne en Champagne.* Compte rendu DGRST, Lusignan
- Hill J.R. & Barnes D.K. (1977) Genetic variability for chemical composition of alfalfa. II. Yield and trait associated with digestibility. *Crop Sci.*, 17, 948-952
- Hill R.R. & Baylor J.E. (1983) Génotype X environnement. Interaction for yield in Alfalfa. *Crop Sci.* 23, 5, 811-815
- Hill R.R. & Rosenberger J.L. (1985) Methods for combining data from germplasm evaluation trials. *Crop Sci.* 25, 467-470
- Hycka M. & Benitez J.M. (1979) Algunas características de cultivares españoles de alfalfa. *Anal. Estac. Exp. Aula Dei (Zaragoza)*, 14, 30, 558-574
- Jones R.J. & Walker B. (1983) Strategies for evaluating forage plants. *Genet. Resour. Forage Plants.* (McIvor & Bray, eds.) Csiro, pp. 185-202
- Jung G.A. & Larson K.L. (1972) Cold, Drought and heat tolerance. *In : Alfalfa Science and Technology.* (Hanson, ed.) American Society of Agronomy, pp. 185-210
- Knipe W.J. & Stockton L.M. (1977) Fall dormancy of five *F₁* *Medicago sativa* L. populations, two reciprocal *F₁* populations and respective parents. *Crop Sci.* 17, 327-328
- Langer R.H.M. (1967) The effect of light and temperature on the growth of lucerne. *In : The Lucerne Crop.* (Langer, ed.) Wellington, Auckland, Sydney A.H. and A.W. Reed.
- Larson K.L. & Smith D. (1963) Association of various morphological characters and seed germination with the winter hardiness of alfalfa. *Crop. Sci.* 3, 234-236
- Lila M. (1970) Critères de sélection, possibilités d'utilisation de digestibilité *in vitro*. *Fourrages* 41, 124-134
- McNeill J. (1984) Taximetrics today. *In : Current Concepts in Plant Taxonomy* (Heywood and Moore, eds.) Academic Press, London, pp. 281-299
- McWilliams J.R. (1980) Adaptation of plants to water and high temperatures stress : summary and synthesis. *In : Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress.* (N.C. and P.J. Kramer, eds.) J. Wiley & sons Inc., New York, pp. 444-447
- Mrazkova M. & Vacek V. (1981) Evaluation of the genetic resources of Lucerne (*M. sativa* L.) in view of Forage Production. *Sb. Uvti. Genet. Slechteni*, 17, 3, 229-240
- Rindos D. (1984) Natural selection and cultural changes. *In : Origins of Agriculture.* Academic Press, New York
- Robinson G.R. & Massengale M.A. (1967) Use of area relationship to estimate leaf area in Alfalfa. *Crop. Sci.*, 7, 394-395
- Rod J. & Tosovsky J. (1975) The use of multivariate analyses in breeding and variety testing. *Sb. Uvti. Genet. Slechteni* 11, 1, 39-53
- Sarosi J. & Svab J. (1979) A topioszeli genbank lucerna fajuegyujte menyenek elemzése fokomponensanalizissel (Hongrie). *Novenytermeles* 28, 2, 115-123
- Smith D. & Struckmeyer B.E. (1974) Cross morphology and starch accumulation in leaves of Alfalfa Plant Grown at High and Low Temperatures. *Crop Sci.*, 14, 433-436
- Steinmetz F.H. (1926) Winter hardiness in alfalfa varieties. *Univ. Minnesota Tech. Bull.* 38
- Tysdal H.M. (1933) Influence of light, temperature, and soil moisture on the hardening process in alfalfa. *J. Agric. Res.* 46, 483-515
- Villax E.J. (1963) Quelques données sur la culture de luzerne au Maroc. *Awamia Rev. Rech. Agron. Maroc.* 8, 115-135
- Villeneuve M. (1964) *Les Cultures Fourragères Irriguées au Maroc.* (Ouvrage collectif) INRA, Maroc, pp. 5-64
- Waddington J. (1974) Use of factors analysis to investigate relations between environmental variables and forage yield. *Can. J. Plant Sci.* 53, 2, 309-316
- Yamada T. & Suzuki S. (1972) classification of alfalfa cultivars by clustering method based on quantitative characters, its significance. *In the introduction and conversation of genetic resources. JIBP Synthesis* 5, 137-144