

Variabilité génotypique de cultivars de maïs développés en Tunisie

M. Fraj¹, M. Ben Younes², M. Lahmar³, A. Ftirich⁴

En Tunisie, sous irrigation et dans les zones au microclimat favorable, le maïs hybride a des performances incontestables. Mais dans des conditions moins favorables, en raison d'une variabilité génétique très étroite, son utilisation est hasardeuse. Ainsi, pour réduire le déficit énergétique tunisien, ne faut-il pas plutôt opter pour l'utilisation de composites ?

RÉSUMÉ

16 composites locaux développés à l'ESA Mateur et 8 hybrides étrangers ont été comparés (composantes morphologiques et productions de matière sèche et de grain). Les hybrides ont des teneurs en épis, en matière sèche et une production de grain (63,1 q/ha) supérieures aux composites lesquels sont, en revanche, plus riches en feuilles (surtout les précoces), plus prolifiques (1,3 épi/plante), ont plus de grains par épi, produisent plus (21,9 t MS/ha) mais sont un peu plus riches en tiges (surtout les tardifs). Les performances des composites locaux obtenus les rendent intéressants en conditions limitantes, particulièrement pour l'ensilage.

MOTS CLÉS

Composante du rendement, facteur limitant, maïs, production fourragère, sélection variétale, structure de la végétation, Tunisie, variabilité génétique, zone méditerranéenne.

KEY-WORDS

Cultivar breeding, forage production, genetic variation, limiting factor, maize, Mediterranean region, Tunisia, vegetation structure, yield component.

AUTEURS

1 : Département des Productions Fourragères, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, 7030 Mateur (Tunisie).

2 : Département des Productions Fourragères, Ecole Supérieure des Grandes Cultures, Bou Lifa, Le Kef (Tunisie).

3 : Département de Zootechnie, Institut National des Recherches Agronomiques de Tunisie, 2080 L'Ariana (Tunisie).

4 : Commissariat Régional de Développement Agricole, Jendouba (Tunisie).

Introduction

Les travaux de FRAJ et COMPTON (1985) et de FRAJ *et al.* (1993, 1996) montrent **l'importance économique de l'introduction de la culture du maïs en Tunisie**, aussi bien pour la production de grain que d'ensilage. En effet, les importations annuelles de maïs grain, semences non comprises, représentent une charge très lourde pour l'économie nationale : plus de 70 millions de dollars (moyenne sur les cinq dernières années), et le déficit énergétique tunisien se chiffre à plus de 600 millions d'Unités Fourragères par an (Ministère de l'Agriculture, VIII^e Plan). Mais le prix des semences hybrides importées, devenu inabordable, n'encourage pas à poursuivre la culture de maïs hybrides.

■ Avantages et limites des maïs sélectionnés

Certes, **sous irrigation, la supériorité des hybrides est manifeste** maïs, compte tenu de la nature même de leur constitution génétique étroite (2, 3 ou 4 lignées parentales seulement selon les hybrides), leur utilisation est fortement conditionnée par la variabilité du milieu. Or, **les génotypes dont la variabilité génétique est importante** (composites, populations améliorées...) **se prêtent beaucoup mieux à la culture dans des conditions plus difficiles et variées** (FRAJ et JOUHRI, 1984 ; SIMMONDS, 1979). Les premiers résultats des travaux de recherche menés à l'Institut des Recherches Agronomiques de Tunisie (FRAJ et JOUHRI, 1977, 1985) ont d'ailleurs montré que les hybrides doubles étaient beaucoup plus stables que les hybrides simples en conditions climatiques difficiles.

BRIGGS et KNOWLES (1977), et HALLAUER et MIRANDA (1981) conseillent la sélection massale au début d'un programme d'amélioration à cause de sa simplicité et de son efficacité à préserver les caractéristiques des génotypes obtenus. Ainsi, FRAJ et COMPTON (1986) et les travaux du CIMMYT (1987, 1988, 1989, 1990, 1991) ont pu montrer son efficacité pour améliorer bon nombre de caractères (en particulier la résistance à la pourriture de la tige) chez le maïs.

L'utilisation des populations améliorées et des composites (populations artificielles formées avec plusieurs lignées qui ont montré une très bonne Aptitude Générale à la Combinaison) **a connu beaucoup de succès partout où la culture du maïs hybride est limitée par les conditions pédo-climatiques** (salinité, période de sécheresse prolongée, excès d'humidité, froid...).

■ Le matériel génétique recherché en Tunisie

Nous avons besoin d'un maïs qui soit, d'une part, **tolérant au froid** pour pouvoir le semer à partir de fin février afin de profiter des eaux de pluie de mars - avril et, d'autre part, **tolérant à un déficit hydrique** qui peut survenir à n'importe quel moment du cycle végétatif et **tolérant à la teneur en sels**, car l'eau d'irrigation devient de plus

en plus chargée au fur et à mesure que l'on s'approche de l'été. Un programme de recherche a donc été engagé avec l'espoir de développer des populations améliorées et/ou des composites qui permettent de faire face aux contraintes climatiques tout en assurant une production conséquente pour les exploitations et en réduisant considérablement les importations de maïs grain à l'échelle nationale.

■ Les études entreprises en Tunisie

En vue de constituer un éventuel amalgame génétique intéressant, depuis 1977, **le programme de sélection du maïs a prospecté le matériel local disponible dans des zones isolées de la Tunisie où les contraintes sont fortes** : dans les oasis du sud où l'eau peut titrer jusqu'à 6 g/litre de résidus secs en été (Gafsa, Nafta, Tozeur, Hezoua, Kébili, Tataouine, Mareth...), dans toutes les régions côtières (Ksar Héléal, Menzel Bouzelfa, Grombalia, Kélibia, Ras Jebel...), et dans les régions du nord où le climat est rigoureux et froid (Aïn Draham, Tabarka, Ras Rajel, Nefza, Sejnane..).

A l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, en se basant sur la variabilité phénotypique, **plusieurs génotypes** (populations améliorées) plus adaptés à nos conditions **ont été sélectionnés** et utilisés pour évaluer les potentialités offertes par un matériel local jusqu'alors négligé et ignoré. Il a été possible aussi de créer des lignées de type S2 et S3 qui, à leur tour, **ont permis de développer des composites** ; nous n'avons retenu que 16 de ces composites qui se sont distingués par leurs bonnes performances et auxquelles nous nous intéressons dans cette étude.

Matériel et méthodes

1. Présentation du matériel végétal

Pour la présente étude, **24 génotypes dont 16 composites d'origine tunisienne et 8 hybrides d'origine française et américaine** ont été utilisés dans des essais comparatifs pendant trois ans. Dans le tableau 1, nous donnons une liste des génotypes utilisés et une description morphologique sommaire des génotypes locaux, les hybrides ayant certainement été décrits par ailleurs. Le tableau 2 présente les origines génétiques des 16 composites utilisés dans notre étude et décrit sommairement le matériel d'origine. En annexe, nous précisons quelques spécificités des populations locales.

2. Mise en place de l'essai et du peuplement

Un dispositif de **blocs complets randomisés** avec 4 répétitions a été utilisé. Le semis a eu lieu entre les 15 et 20 février de chacune des

N°	Génotype*	Précocité	Origine*	Hauteur* (cm)		PMGV* (g)	Aspect du grain	Nb feuilles* au dessus de l'épi
				plante	épi			
1	C01807	Précoce	Tunisie	173	78	225	Corné	8
2	C02818	Précoce	Tunisie	182	75	256	Corné	8
3	C03823	Précoce	Tunisie	189	90	268	Semi denté	8
4	C04838	Précoce	Tunisie	164	67	243	Corné	8
5	C05849	Précoce	Tunisie	178	86	270	Corné	8
6	C06866	Précoce	Tunisie	183	75	235	Semi denté	9
7	C18808	Précoce	Tunisie	185	80	247	Corné	8
8	C19878	Précoce	Tunisie	191	95	285	Corné	7
9	C21894	Précoce	Tunisie	188	89	276	Denté	8
10	C22857	Précoce	Tunisie	181	82	261	Corné	8
11	C29832	Tardif	Tunisie	211	110	265	Semi denté	9
12	C41841	Tardif	Tunisie	233	119	316	Corné	10
13	C42815	Tardif	Tunisie	217	114	328	Semi denté	12
14	C44868	Tardif	Tunisie	225	125	334	Semi denté	12
15	C45822	Tardif	Tunisie	231	127	326	Denté	12
16	C46878	Tardif	Tunisie	219	116	319	Corné	12
17	LG2250	Précoce	France	185	93			
18	LG2281	Précoce	France	187	95			8
19	LG2301	Précoce	France	177	116			8
20	LG2350	Tardif	France	196	110			10
21	Minedor	Tardif	France	205	123			10
22	PX74	Tardif	USA	235	119			12
23	PX9540	Tardif	USA	241	123			12
24	PX9646	Tardif	USA	239	118			12

* **Génotype** : C : Composite. Les trois chiffres à droite de la lettre C correspondent au n° d'ordre dans la liste d'origine des lignées qui ont donné naissance à ces composites, et les deux chiffres suivants au n° d'ordre de la composite elle-même.

Origine : pour plus de détails sur l'origine génétique des composites locales, cf. en annexe.

Hauteurs et Nombre de feuilles au dessus de l'épi : moyennes de 20 plantes par répétition

Hauteur plante : hauteur totale, panicule comprise ; Hauteur épi : hauteur de l'insertion de l'épi sur la tige à partir du sol.

PMGV : poids de mille graines viables (moyenne des 4 répétitions).

années 1993, 1994, et 1995 ; il a été réalisé à la main à raison de 3 graines par poquet.

Pour les **génotypes précoces**, les lignes sont distantes de 80 cm mais les poquets ne sont espacés que de 13 cm pour assurer environ 96 000 plants à l'hectare. Pour les **tardifs**, les lignes sont distantes de 90 cm et les poquets sont espacés de 14,5 cm afin d'assurer un peuplement d'environ 76 500 plants/ha.

Nous avons utilisé huit lignes de 5 m de long soit l'équivalent de 272 plants par génotype et par répétition pour les tardifs et 307 plants pour les précoces. Au stade de 4 à 5 feuilles, un éclaircissage manuel a été pratiqué pour ne laisser qu'un seul plant afin de respecter les peuplements prévus.

3. Traitement des données

L'analyse statistique a été réalisée par nos soins en utilisant Genstat5 (1987). Le modèle statistique utilisé pour réaliser les ana-

TABLEAU 1 : Présentation des génotypes utilisés et description morphologique sommaire des génotypes locaux.

TABLE 1 : Presentation of the genotypes used and brief morphological description of the local genotypes.

N°	Génotype, précocité*	Origine et mélange (%)	Caractéristiques de la plante*	Caractéristiques de l'épi et du grain*	Caractères* d'adaptation
1	C01807 Préc.	Tataouine 1	30 Tg. grosse, courte, Tig., Fil. réduites, Prolif., Poll.	Epi moy, Sp. longues, gros grain	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Menzel Bouzelfa 4	40 Tg. moy, hte, rigide, Tig., Prolif., Poll.	Très bon épi, long, gros grain J corné	Semi-Préc., Rés. salinité
		Aïn Draham 1	30 Tg. grosse, hte, Flg. important, Poll.	Gros épi, conique, gros grain J corné	Préc., Rés. froid, hydromorphie
2	C02818 Préc.	Tataouine 2	30 Tg. grosse, Tig., Fil. réduites, Prolif., Poll.	Epi moy, effilé, grain corné moyen	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Ksar Héhal 1	40 Tg. petite, hte, rigide, Tig., Prolif., Poll.	Epi effilé, grain moy, luisant, J corné	Préc., Rés. salinité
		Ras Rajel 3	30 Tg. hte, rigide, Flg. abondant, Poll.	Gros épi, Sp. longues, gros grain J corné	Préc., Rés. froid, hydromorphie
3	C03823 Préc.	Tozeur 5	50 Tg. grosse, Tig., Fil. réduites, Prolif., Poll.	Epi relativement petit, grain moyen, J corné	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Aïn Draham 1	50 Tg. hte, Fil. très développées, retombantes, Poll.	Gros épi, assez long, gros grain J corné	Semi-Préc., Rés. froid, hydromorphie
4	C04838 Préc.	Gafsa 3	40 Tg. moy, Tig, Fil. réduites, dressées, Prolif., Poll.	Epi long, couvert par Sp., grain moy	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Tabarka 1	60 Tg. hte, Flg. dense, large et retombant, Poll.	Long épi, effilé, gros grain J corné	Semi-Préc., Rés. froid, hydromorphie
5	C05849 Préc.	Kébill 4	40 Tg. grosse et courte, Tig., Fil. réduites, Prolif., Poll.	Epi long, gros, grain J forcé, corné.	Semi-Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Kélibia 1	30 Tg. moy, Tig., Fil. denses, Poll.	Epi gros, conique, long, grain moyen J corné	Semi-Préc., Rés. verse
		Ghar Dimaou 2	30 Tg. grosse, courte, Fil. dressées, Tig., Poll.	Epi long, Sp. longues, gros grain J corné	Semi-Préc., Rés. froid, verse
6	C06866 Préc.	Hézoua 1	40 Tg. moy, rigide, Tig., Fil. réduites, Prolif., Poll.	Epi petit, gros grains, J intense	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Mareth 3	40 Tg. hte, rigide, Tig., Flg. réduit, Prolif., Poll.	Epi long, très effilé, grain moy, J pâle	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Ras Rajel 3	20 Tg. grosse, courte, Fil. réduites, Poll.	Gros épi, long, gros grain, J intense	Préc., Rés. froid, hydromorphie
7	C18808 Préc.	Tataouine 2	40 Tg. moy, Tig., Flg. érigé réduit, Prolif., Poll.	Epi moy, effilé, gros grain J corné	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Sejnane 1	60 Tg. hte, Flg. abondant, Prolif., Poll.	Epi gros, conique, long, grain moy, J corné	Préc., Rés. froid, hydromorphie
8	C19878 Préc.	Aïn Draham 3	30 Tg. hte, grosse, Tig., Flg. important, Poll.	Gros épi, gros grain, J pâle, corné	Préc., Rés. froid, hydromorphie
		Grombalia 3	40 Tg. grosse, rigide, Tig. Flg très abondant, Prolif, Poll	Epi moyen, grain blanc et gros, corné	Préc., Rés. verse
		Ksar Héhal 1	30 Tg. filiforme, rigide, Tig., Fil. étalées, Prolif.	Epi effilé, grain moyen, J corné	Préc., Rés. salinité
9	C21894 Préc.	Mareth 3	20 Tg. moy, rigide, Tig., Flg. dense, Prolif.	Epi moy, gros grain, J corné	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Menzel Bouzelfa 4	40 Tg. moy, Flg. abondant, Prolif., Poln.	Très bon épi, long, gros grain, J corné	Semi-Préc., Rés. salinité
		Tabarka 1	40 Tg. grosse, hte, rigide, Tig., Fil. érigées, Poln.	Long épi, gros grain, J pâle, corné	Semi-Préc., Rés. froid, verse
10	C22857 Préc.	Nafta 6	30 Tg. courte, rigide, Fil. réduites, Prolif., Poln.	Epi moy, effilé, gros grain, J corné	Préc., Rés. salinité, sécheresse
		Ghar Dimaou 1	30 Tg. moy, rigide, Tig., Flg. abondant, Poln.	Long épi, gros grain, J intense, corné	Semi-Préc., Rés. froid, hydromorphie
		Kélibia 1	40 Tg. hte, rigide, Tig., Flg. abondant, Poln.	Epi gros, conique, long, gros grain, J corné	Semi-Préc., Rés. verse

* Abréviations utilisées : Fil. : feuilles, Flg. : feuillage, hte : haute, J : jaune, moy : moyenne, Poln. : pollen (donne un pollen abondant et de qualité), Préc. : précoce, Prolif. : prolifique, Rés. : résistant... (présente une tolérance certaine à la verse, la salinité, au froid, à l'hydromorphie, à la sécheresse...), Sp. : spathe, Tard. : tardif, Tg. : tige, Tig. : tallage

TABLEAU 2 : Origine génétique des composites locaux précoces et description sommaire du matériel parental.

TABLE 2 : Genetic origin of the local composites and brief description of the parent material.

lyses nécessaires tient compte des effets des variables suivantes : Années, Blocs, Génotypes, Précocités, Génotypes x Précocités, Années x Précocités, Années x Génotypes, Années x Génotypes x Précocités, et l'erreur expérimentale.

Pour des raisons pratiques, le classement général des moyennes individuelles pour 8 paramètres étudiés chez les 24 génotypes a été réalisé en utilisant le test de Duncan. Les moyennes par groupe de précocité (pour les mêmes paramètres) ont été comparées en utilisant les

N°	Génotype, précocité*	Origine et mélange (%)	Caractéristiques de la plante*	Caractéristiques de l'épi et du grain*	Caractères* d'adaptation
11	C29832 Tard.	Gafsa 1	20 Tg. courte, grosse, rigide, Filg. dense, Prolif., Poln.	Epi moy, effilé, gros grain, J corné	Semi-Tard., Rés. salinité, sécheresse
		Ras Rajel 4	40 Tg. moy, rigide, Tig., Filg. très important, Prolif.	Long épi, gros grain, J, denté	Semi-Tard., Rés. froid, verse
		Grombalia 5	40 Tg. hte, grosse, rigide, Tig, Filg abondant, Prolif, Poln	Epi moyen, grain blanc, gros, corné	Tard., Rés. verse
12	C41841 Tard.	Menzel Bouzelfa 5	40 Tg. moy, rigide, Filg. important, Prolif., Poln.	Très bon épi, long, gros grain, J corné	Tard., Rés. salinité, verse
		Grombalia 5	40 Tg. hte, grosse, Tig, Filg très abondant, Prolif, Poln	Epi moyen, grain blanc, gros, corné	Tard., Rés. verse
		Nefza 3	20 Tg. moy, rigide, Tig., Fil. réduites, Poln.	Gros épi, long, gros grain, J corné	Tard., Rés. froid, hydromorphie
13	C42815 Tard.	Grombalia 5	50 Tg. hte, grosse, rigide, Tig, Filg abondant, Prolif, Poln	Epi moyen, grain blanc et gros, corné	Tard., Rés. salinité, verse
		Ras Jebel 6	30 Tg. moy, rigide, Tig., Filg. érigé moy, Poln.	Long épi, gros grain, J, denté	Semi-Tard., Rés. salinité
		Aïn Draham 2	20 Tg. hte, filiforme, rigide, Tig., Filg. abondant, Poln	Epi conique, gros, long, gros grain, J denté	Tard., Rés. froid, hydromorphie
14	C44868 Tard.	Grombalia 5	50 Tg. hte, grosse, rigide, Tig, Filg abondant, Prolif, Poln	Epi moyen, grain blanc, gros, corné	Tard., Rés. salinité, verse
		Menzel bouzelfa 6	30 Tg. hte, rigide, Filg. important, Prolif., Poln.	Très bon épi, long, gros grain, J, denté	Tard., Rés. salinité
		Nefza 3	20 Tg. moy, rigide, Tig., Fil. réduites, Prolif., Poln.	Epi long, gros grain, J corné	Tard., Rés. froid, verse
15	C45822 Tard.	Grombalia 2	50 Tg. hte, très grosse, Tig., Filg. abondant, Poln.	Long épi, grain gros, blanc, corné	Tard., Rés. salinité, verse
		Menzel Jemil	30 Tg. hte, rigide, Tig., Filg. érigé moy, Poln.	Long épi, gros grain, J denté	Semi-Tard., Rés. salinité
		Aïn Draham 2	20 Tg. hte, filiforme, rigide, Tig, Filg. abondant, Poln.	Epi conique, gros et long, gros grain, denté	Tard., Rés. froid, hydromorphie
16	C46878 Tard.	Grombalia 4	50 Tg. grosse, rigide, Tig., Filg. très abondant, Poln.	Long épi, grain gros, blanc, corné	Tard., très Rés. verse
		Ghar Dimaou 2	25 Tg. hte, rigide, Tig., Filg. abondant, Poln.	Long épi, grain moy, J denté	Tard., Rés. froid, hydromorphie
		Sejnane 2	25 Tg. hte, Filg. abondant, Prolif., Poln.	Epi gros, conique, long, gros grain, J denté	Tard., Rés. froid

* Abréviations utilisées : Fil. : feuilles, Filg. : feuillage, hte : haute, J : jaune, moy : moyenne, Poln. : pollen (donne un pollen abondant et de qualité), Préc. : précoce, Prolif. : prolifique, Rés. : résistant... (présente une tolérance certaine à la verse, la salinité, au froid, à l'hydromorphie, à la sécheresse...), Sp. : spathes, Tard. : tardif, Tg. : tige, Tig. : tallage

contrastes orthogonaux tout en respectant les différences entre les effectifs comme le recommande FEDERER (1967) en utilisant le même seuil d'erreur ($\alpha = 5\%$).

4. Soins d'entretien

Fertilisation : Une fumure de couverture consistant à fournir 350 kg/ha d'ammonitrate à 33,5% (117 unités) a été fractionnée en 3 apports appliqués en localisé successivement à la levée, à la montaison et à l'apparition des panicules. Comme fumure de fond, nous avons donné l'équivalent de 100 kg/ha de sulfate de potasse à 48% (48 unités) et 200 kg de super-phosphate à 45% (90 unités).

Irrigations : L'eau, apportée par aspersion, permet de compléter les pluies afin de mieux répondre aux besoins de la plante compte tenu

TABLEAU 2 (suite) : **Origine génétique des composés locaux tardifs et description sommaire du matériel parental.**

TABLE 2 (continuation) : **Genetic origin of the local composites and brief description of the parent material.**

Année	1993					1994					1995				
	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Précipitations	50	31	19	8	5	53	25	20	5	7	49	37	24	6	3
Irrigations	40	100	150	171	39	35	100	150	170	43	40	100	150	180	35
Total par mois	90	131	169	179	44	88	125	170	175	50	89	137	174	186	38
Total par cycle	613					608					624				

TABLEAU 3 : Précipitations et irrigations (mm) après les semis de maïs, de février à juin.

TABLE 3 : Rainfall and irrigations (mm) after sowing of maize, from February to June.

de son stade phénologique et de l'ETR (Evapotranspiration Réelle) estimée à 5 mm/jour. Le tableau 3 présente les précipitations et les irrigations dont ont bénéficié les semis en 1993, 1994 et 1995.

Les trois années, la plus grande partie des précipitations de février est tombée bien avant le semis. De ce fait, les totaux par cycle dépassent un peu les besoins de la plante. L'irrigation durant ce mois correspond en fait à un simple complément donné après le semis. La dernière irrigation durant le mois de juin est plus faible que les précédentes pour permettre une récolte dans de bonnes conditions. L'expérience a montré qu'un total de 550 à 600 mm d'eau est largement suffisant. Dans la pratique, les irrigations ont été appliquées de la façon suivante : 5 tours d'eau du semis au stade 6 à 8 feuilles (35 à 40 mm par tour) ; 4 tours d'eau du stade de 8 feuilles à la pollinisation (60 mm par tour) et soit 2 tours d'eau de la pollinisation au stade grain pâteux pour l'ensilage, soit 4 tours de la pollinisation jusqu'à la maturité complète du grain pour la production de grains. A partir de la pollinisation et jusqu'au stade pâteux - dur du grain, on a donné l'équivalent de 65 mm d'eau par tour d'eau aussi bien pour l'ensilage que pour le grain. Les deux derniers tours (réalisés après la récolte de l'ensilage) n'étaient que d'environ 40 et 20 mm respectivement.

5. Mesures effectuées

Pour ces génotypes, l'évaluation a porté sur les teneurs en feuilles, en épis et en tiges (en % de la matière sèche totale), sur la prolificité (exprimée en nombre d'épis par plant) et sur le pourcentage de grain par épi. En outre, les productions de matière sèche (MS) de la plante entière (en t/ha) et de grain (en q/ha) ont été déterminées pour servir de critères de comparaison (FRAJ et BAHRI, 1988). Les hybrides ont été inclus dans l'essai pour servir de témoin.

■ Composantes morphologiques et production de matière sèche

Afin de déterminer la production de matière sèche et les teneurs en feuilles, tiges, épis et matière sèche de la plante entière, trois lignes par génotype et par répétition ont été récoltées au stade pâteux - dur du grain (stade de coupe pour l'ensilage).

Pour les génotypes précoces et tardifs, les composantes morphologiques et les productions de matière sèche et de grain ont été déter-

minées respectivement sur la base des 104 et 90 plantes issues de 3 lignes contiguës parmi les 6 lignes du milieu de la parcelle, après avoir écarté les deux lignes bordant chaque unité expérimentale et les deux plantes de chaque extrémité de ligne, afin de minimiser l'effet de bordure.

De la même manière, 90 ou 104 plants par répétition ont été utilisés pour déterminer les teneurs en feuilles, tiges et épis de la plante (exprimées toutes en % de la MS totale). Pour ce faire, on a procédé à une séparation systématique des différentes composantes de la plante. Ensuite, un échantillon représentatif d'environ 0,5 kg par répétition et par génotype a été séché à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant pour déterminer la teneur en matière sèche et par la suite la proportion que représente la matière sèche de chaque composante par rapport à la matière sèche totale.

Pour tous les génotypes, et afin de déterminer la production de matière sèche de la plante entière et sa teneur en matière sèche (% MS), la totalité de la récolte des trois lignes de chaque répétition (avant la séparation des composantes morphologiques) a été pesée et les plants comptés. Ensuite, un échantillon représentatif d'environ 1 kg par répétition et par génotype a été bien haché et séché à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant.

■ Prolificité et production de grain

Exprimée en nombre d'épis par plante ayant au moins 50% de la rafle couverte de graines de bonne conformation, la prolificité a été déterminée pour tous les génotypes en utilisant les 208 et 180 plants des 6 lignes du milieu de chaque répétition, respectivement pour les précoces et les tardifs.

Afin de déterminer la production de grain à l'ha, le pourcentage de grains par épi et l'humidité à la récolte, les plantes des trois lignes restantes (90 ou 104 plants selon la précocité) ont été récoltées à la main à maturité complète, après dessèchement total des spathes et de la plante. Ensuite, les épis ont été ramenés au laboratoire pour la pesée et l'égrainage manuel. Les graines sont alors pesées pour déterminer le pourcentage de grain par épi. Le pourcentage d'humidité a été déterminé en utilisant un échantillon de 0,5 kg de grain qui a été séché à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant. Ce dernier facteur va nous permettre par la suite de calculer les productions de grain corrigées à 15,5% d'humidité.

Résultats

Le facteur "Année" et toutes les interactions s'y rattachant n'ont pas montré d'effet significatif sur les paramètres étudiés ($p > 0,05$). Les valeurs élevées de R^2 (tableau 4) indiquent que le pourcentage de la variabilité expliquée par le modèle est fort élevé et que le degré de liberté de 429 associé à l'erreur expérimentale peut expliquer facilement les faibles carrés moyens correspondants.

N°	Génotype, précocité*	Feuilles* (%)	Tiges* (%)	Epis* (%)	Prolificté*	Graines* par épi (%)	MS* plante entière (%)	Production MS* (t/ha)	Production grain* (q/ha)
1	C01807 Préc.	30,9 c	20,7 h	48,5 de	1,3 c	81,6 d	28,1 f	20,0 e	59,2 d
2	C02818 Préc.	29,2 d	22,7 ef	48,2 e	1,4 b	83,4 b	33,9 b	26,7 b	54,6 g
3	C03823 Préc.	27,5 e	26,3 ab	46,3 f	1,3 c	84,6 a	28,7 ef	23,7 cd	52,2 i
4	C04838 Préc.	28,8 de	21,5 e	49,8 d	1,2 d	81,9 cd	33,4 bc	23,3 cd	53,8 h
5	C05849 Préc.	25,2 g	22,5 f	52,4 c	1,3 c	80,7 e	31,8 d	16,8 f	52,8 hf
6	C06866 Préc.	26,1 f	24,1 de	49,8 d	1,2 d	79,9 f	32,4 c	22,1 d	50,1 i
7	C18808 Préc.	30,9 c	20,7 h	48,5 de	1,3 c	81,6 d	28,1 f	17,3 f	58,9 e
8	C19878 Préc.	35,0 a	21,7 g	43,3 g	1,2 d	82,4 c	28,3 f	19,0 e	54,8 g
9	C21894 Préc.	28,8 de	22,3 f	48,9 de	1,2 d	80,2 e	30,7 e	21,3 de	56,5 f
10	C22857 Préc.	28,0 e	27,4 a	44,6 fg	1,3 c	83,3 b	29,6 ef	20,0 e	59,5 d
11	C29832 Tard.	29,5 d	24,9 c	45,7 f	1,3 c	80,7 e	28,9 ef	15,0 g	59,0 de
12	C41841 Tard.	29,5 d	24,2 d	46,3 f	1,3 c	79,2 g	32,4 c	16,8 f	71,0 b
13	C42815 Tard.	28,6 de	25,4 b	46,1 f	1,2 d	78,4 h	30,2 e	24,3 c	53,4 h
14	C44868 Tard.	27,2 ef	22,8 ef	50,1 d	1,2 d	78,8 g	30,1 e	25,4 bc	53,3 h
15	C45822 Tard.	33,1 b	24,1 de	42,8 g	1,5 a	78,2 h	33,8 b	23,9 c	59,1 de
16	C46878 Tard.	29,9 cd	27,4 a	42,7 g	1,4 b	79,0 g	35,9 a	38,2 a	64,9 c
17	LG2250 Préc.	24,3 h	23,1 e	52,7 c	1,0 e	80,9 de	33,2 bc	7,9 j	56,4 f
18	LG2281 Préc.	21,3 i	21,1 h	58,1 a	1,0 e	80,0 f	33,9 b	7,3 j	57,8 e
19	LG2301 Préc.	22,3 i	23,4 e	54,8 b	1,0 e	78,1 h	32,3 c	9,8 i	55,9 f
20	LG2350 Tard.	25,3 g	22,3 f	52,4 c	1,0 e	79,7 f	29,8 ef	14,1 g	57,3 f
21	Minedor Tard	27,3 ef	24,2 d	48,5 de	1,0 e	78,5 h	33,6 bc	22,3 d	59,0 de
22	PX74 Tard.	29,8 cd	25,2 b	44,7 f	1,0 e	79,9 f	34,1 ab	18,9 e	71,7 b
23	PX9540 Tard.	21,6 i	19,9 i	58,6 a	1,0 e	82,4 c	32,6 c	11,1 h	74,9 a
24	PX9646 Tard.	31,0 c	24,5 cd	44,4 fg	1,0 e	81,1 de	29,4 ef	21,7 de	71,8 b
R ²		0,93	0,87	0,94	0,96	0,94	0,86	0,95	0,94
Ecart type		1,23	1,13	1,67	0,19	0,26	0,33	4,12	1,49

* Préc. : précoce, Tard. : tardif
 Dans une même colonne, les moyennes accompagnées par la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

TABLEAU 4 : Composantes morphologiques, productions de grain et de matière sèche observées pour les 24 génotypes de maïs étudiés.

TABLE 4 : Morphological components, grain yields, and dry matter yields observed on the 24 maize genotypes studied.

D'une façon générale, les résultats que nous avons obtenus (tableau 4) montrent **une variabilité génotypique importante au sein d'un même groupe de précocité, aussi bien pour les composites que pour les hybrides, quel que soit le paramètre étudié, sauf pour la prolificité où l'on peut constater une stabilité nettement plus marquée chez les hybrides.** Pour alléger la présentation des résultats, nous avons souligné dans le tableau 4 les meilleurs résultats obtenus parmi les composites précoces, les composites tardifs et les hybrides pour chacun des paramètres étudiés.

Pour mieux illustrer ces constatations, nous présentons dans le tableau 5 les moyennes pour les différents paramètres par origine et par groupe de précocité, et le classement des différents groupes de génotypes les uns par rapport aux autres en utilisant les contrastes orthogonaux.

■ Pourcentage de feuilles

Le composite précoce le plus feuillu est C19878 (35,0%) ; pour les composites tardifs, C45822 (33,1%) est en tête (tableau 4). **Les composites sont significativement plus riches en feuilles que les hybrides** quelle que soit la précocité (tableau 5).

	Génotypes précoces*		Génotypes tardifs*	
	Composites	Hybrides	Composites	Hybrides
nb de génotypes utilisés	10	3	6	5
Feuilles (%)	29,20 A	22,60 B	29,33 a	27,00 b
Tiges (%)	22,53 A	22,50 A	24,81 a	23,20 b
Epis (%)	48,35 B	55,20 A	45,90 b	49,70 a
MS Plante entière (%)	30,59 B	33,13 A	31,45 b	31,90 a
Production MS (t/ha)	21,11 A	8,33 B	23,11 a	17,60 b
Prolificité	1,28 A	1,00 B	1,30 a	1,00 b
Graines par épi (%)	82,01 A	79,67 B	79,73 b	80,30 a
Production de grain (q/ha)	54,55 B	56,70 A	59,60 b	66,90 a

* Dans une même ligne, les moyennes accompagnées par la même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes ; de même pour les lettres minuscules

TABLEAU 5 : Moyenne des différents paramètres par origine et par précocité.

TABLE 5 : Means of the various parameters, by origin and by group of earliness.

■ Pourcentage de tiges

Dans ce cas, le test de Duncan (tableau 4) montre que les composites précoces présentent une plus grande dispersion, la teneur la plus élevée se rencontrant chez C22857 (27,4%) et C03823 (26,3%).

Parmi les composites tardifs, C46878 a une teneur (27,4%) significativement supérieure aux autres. Les contrastes (tableau 5) permettent de constater que les composites précoces ont pratiquement le même pourcentage de tige que les hybrides précoces. En revanche, **les composites tardifs sont significativement plus riches en tige (+ 1,61%) que les hybrides tardifs.**

Il convient de noter que **le nombre moyen de talles par plant chez les composites est de l'ordre de 1,77** (plus marqué chez les composites tardifs notamment), **alors que les hybrides ne tallent presque jamais.** Ceci a pour conséquence immédiate l'augmentation du pourcentage de tige (en particulier chez les tardifs), de la teneur en matière sèche de la plante entière et par conséquent de la production à l'hectare.

■ Teneur en matière sèche

C'est un composite tardif, C46878, qui a la plus forte teneur (35,9%) car il est le plus riche en tiges et possède en moyenne 1,4 épi par plant. En effet, FRAJ *et al.* (1993) ont montré qu'il y a un lien étroit entre la teneur en MS d'une part et les teneurs en épi et en tiges d'autre part. Mais, de façon générale (tableau 5), **les hybrides précoces et tardifs ont des teneurs en MS moyennes significativement plus importantes que celles rencontrées respectivement chez les composites précoces et tardifs.** En effet, les composites sont beaucoup moins riches en épis ($p < 0,05$).

■ Production de matière sèche

Les composites locaux précoces se divisent en six sous-groupes, C02818 ayant la plus forte production (26,7 t MS/ha). Pour les tardifs, C46878 produit le plus (38,2 t/ha). La production des hybrides précoces est nettement plus faible que celle des autres génotypes. Les hybrides tardifs ont produit de 11 à 22 t/ha, les productions les plus élevées étant obtenues avec Minedor (22,3 t/ha) et PX9646 (21,7 t/ha). Cependant, on peut constater tableau 5 que **les composites locaux précoces et tardifs ont produit significativement plus de matière sèche que les hybrides précoces et tardifs, respectivement dans cet ordre.**

■ Teneur en épi

Ce paramètre montre lui aussi **une grande variabilité**. En effet, parmi les composites précoces, on peut distinguer six sous-groupes. Comparé aux hybrides (toutes précocités confondues) dont la teneur moyenne est de 51,8%, le matériel local (précoce et tardif, moyenne : 47,4%) est significativement moins riche en épi.

■ Proliféricité

Les composites précoces sont plus stables que les composites tardifs quant au nombre d'épis par plante. Le génotype précoce le plus prolifique est C02818 (1,4 épi en moyenne). Les composites tardifs se regroupent en quatre groupes distincts et C45822 est significativement plus prolifique. **Comparativement aux hybrides, le matériel tunisien est significativement plus prolifique.**

■ Pourcentage de grains par épi

Les composites locaux précoces se divisent en six groupes. Parmi les génotypes précoces, les composites ont plus de grains par épi que les hybrides ($p < 0,05$), alors que c'est l'inverse qui se produit chez les génotypes tardifs, mais l'écart est très faible (0,67 point).

■ Production de grain

Pour la production de grain à l'hectare, PX9540 donne significativement le plus de grain (74,9 q/ha), suivi par PX74, PX9646 (71,7 q/ha) et C41841 (71,0 q/ha). Les composites précoces se répartissent en six sous-groupes, présentant des chevauchements et les composites tardifs en quatre sous-groupes. **Les hybrides, qu'ils soient tardifs ou précoces, sont nettement plus stables pour ce caractère et plus productifs que le matériel local.** Chez les génotypes précoces l'écart est de 2,55 q/ha, alors qu'il est de 6,51 q/ha pour les génotypes tardifs, toujours en faveur des hybrides.

Discussion, conclusion

■ Les hybrides assurent de meilleurs rendements en grain et un fourrage de bonne qualité...

Toutes précocités confondues, les hybrides ont de meilleurs résultats pour la teneur en épis (51,8%), la teneur en MS (32,4%*) et la production en grain (63,1 q/ha*, $p < 0,05$). En revanche, les composites sont significativement plus riches en feuilles (29,25% comparé à 25,35%*) et plus prolifiques (1,3 épi/plante comparé à 1,0 épi*, $p < 0,05$). Ils ont plus de grains par épi (81,2% comparés à 80,1%*) et produisent plus de MS (21,86 t/ha*) mais ils sont un peu plus riches en tiges (23,39% comparé à 22,85%*).

Cependant, en dépit d'un écart de production de grain de 6,63 q/ha en faveur des hybrides, PADGETT *et al.* (1968) et JOSEPHSON et KINCER (1976) ont montré clairement qu'il est possible d'améliorer significativement la production en grain en sélectionnant sur la grosseur de la graine et la longueur de l'épi. En effet, les génotypes locaux, quoique caractérisés par un grain de type corné et moins gros que celui des hybrides qui ont presque toujours donné un seul épi par plant, présentent de bonnes aptitudes pour des améliorations génétiques.

FRAJ *et al.* (1993, 1996) ont montré que l'épi peut représenter une part considérable dans la MS totale. Chez les hybrides, la teneur en épis (51,8%) dépasse de 4,3% celle permise par les composites. Cependant, ce paramètre peut être trompeur car il traduit uniquement le rapport du poids total de l'épi sur le poids sec total de la plante. Le pourcentage de grain de l'épi (qui donne une meilleure idée sur le pourcentage de rafle) et la production de grain par ha seraient donc de meilleurs indices pour juger de la qualité des fourrages produits. En effet, le pourcentage de grain par épi est de 81,2% chez les composites et de 80,1% chez les hybrides. Comparativement aux composites et compte tenu des deux paramètres ensemble (% de l'épi et de la tige), les hybrides donneraient un ensilage de meilleure qualité.

■ Mais les composites assurent une production d'ensilage satisfaisante, particulièrement en conditions difficiles...

L'écart constaté au niveau de la teneur en tige des génotypes (bien qu'il ne soit significatif que chez les génotypes tardifs) n'est pas suffisant à notre avis pour expliquer l'écart important ($p < 0,05$) enregistré au niveau des productions de MS. La prolificité, le pourcentage de grains par épi et le nombre de talles par plant ont certainement dû jouer un rôle.

* Toutes ces valeurs ont été calculées compte tenu des fréquences génotypiques

Ainsi, en l'état actuel des choses, on peut dire que la supériorité du matériel local par rapport au matériel importé n'est pas automatiquement manifeste mais que ses performances ont été nettement améliorées comparativement à celles des populations d'origine, surtout pour les productions en grain et en MS (10 à 15 q de grain et 5 à 6 t MS/ha respectivement). Etant plus riches en feuilles, et avec une teneur en épis de 47,4%, un pourcentage de grains par épi élevé et une productivité en biomasse très intéressante, les composites (précoces et tardifs) semblent plutôt mieux convenir pour la production de l'ensilage.

L'hybride PX9540 (74,9 q/ha) produit significativement le plus de grain suivi par PX9646, PX74 et C41841 (71,0 q/ha). D'une façon générale, la production des composites est plus faible que celle des hybrides, mais nous pouvons considérer que les performances des composites (précoces et tardifs) sont très satisfaisantes.

La production à l'hectare a été estimée à partir des récoltes réalisées sur de petites surfaces. Il n'est donc pas surprenant de constater que cette production dépasse chez certains génotypes le seuil des 38 t/ha. Dans la pratique, sur des superficies plus importantes (250 à 300 ha) et en utilisant des hybrides tardifs, il a été possible de réaliser des productions de l'ordre de 20 t MS/ha, comme c'était le cas à El-Alam, Kairouan et à Ramlia, Siliana (FRAJ et JOUHRI, 1984).

Les éléments d'information dont nous disposons permettent de dire qu'il serait plus sage, actuellement, de n'utiliser les hybrides que dans les zones les plus favorables (FRAJ et JOUHRI, 1977, 1985 ; FRAJ, 1987, 1996). Là où les conditions sont plus difficiles, il y a lieu d'utiliser des génotypes dont le pouvoir tampon vis-à-vis du milieu est plus important, comme les composites (FRAJ et CIMMYT, 1987, 1989). Les composites développés à Mateur ont montré des performances comparables ou parfois même supérieures à celles des hybrides.

Accepté pour publication, le 6 juillet 1998.

D'une façon générale, le maïs local est de type corné. Le ramassage des échantillons a été facilité par la participation des étudiants de l'ESA Mateur.

Au nord du pays, **le matériel collecté présente certaines qualités dont les plus intéressantes sont la résistance au froid et à un excès modéré d'eau.** En effet, toute la région du nord est caractérisée par un hiver plutôt rigoureux et une pluviométrie presque toujours excédentaire (souvent >1 000 mm/an). De ce fait, l'hydromorphie est parfois très gênante pendant l'hiver et le début printemps. Dans la région de Sedjnane, en raison de cette hydromorphie, faute de ne pouvoir installer d'autres céréales durant la période pluvieuse de l'année, les paysans cultivent du maïs sur de petites surfaces surélevées pour produire du grain dont l'utilisation est alimentaire (surtout couscous et galette).

En revanche, **dans les régions du sud, les eaux sont plutôt saumâtres et rares** (jusqu'à 6 g/litre de résidus secs). **Le matériel collecté présente donc l'avantage d'être tolérant au sel jusqu'à une teneur particulièrement élevée.** Dans ces régions, le maïs n'est pas vraiment cultivé mais on le rencontre de façon diffuse dans des endroits très limités : au bord de rigoles d'irrigation ou même autour de planches de tomates et de piments, pour servir de brise-vent temporaire et empêcher l'érosion. L'épi est récolté soit au stade grain pâteux-dur, et vendu en l'état pour être cuit sur les braises (méchouis), soit au stade de grain mûr pour être torréfié (pop-corn) ou, lorsque la récolte est suffisante, pour la confection d'une semoule servant à préparer un couscous spécial très apprécié.

Les sélections faites dans les populations ramassées a permis **dans une première étape d'obtenir des lignées de phénotypes** un peu bizarres, en particulier pour l'aspect des feuilles qui présentent un faciès rugueux, profondément ridé et une surface riche en poils, surtout sur les bords.

ANNEXE : Quelques caractéristiques du maïs local.

APPENDIX : A few characteristics of local maize.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRIGGS F.N., KNOWLES P.F. (1977) : "Introduction to Plant Breeding", Reinolds Publishing Corp., USA, 117-118.
- CIMMYT (1987, 1989, 1990, 1991) : *CIMMYT International Testing Program. Preliminary Reports.*
- FEDERER W.T. (1967) : *Experimental Design : Theory and Application*, The Macmillan Company, New York.
- FRAJ M. (1987, 1996) : *Essais de comportement variétal : hybrides et populations améliorées*, rapports d'activité, ESA Mateur.
- FRAJ M., BAHRI J. (1988) : *Effet du stade de coupe sur le rendement des composantes morphologiques de huit génotypes de maïs ensilage*, mémoire de fin d'étude, ESA Mateur.
- FRAJ M., CIMMYT (1987, 1989) : *Essais de comportement de populations améliorées de maïs. Rapports d'activité*, ESA Mateur.
- FRAJ M., COMPTON W.A. (1985) : *Does corn have a potential in Tunisian Agriculture ?*, Séminaire INRAT.

- FRAJ M., COMPTON W.A. (1986) : "Feasibility of mass selection for Stalk-rot resistance in maize (*Zea mays* L.)", *Maydica*, XXXI, 261-267.
- FRAJ M., JOUHRI A. (1984) : *Fiche technique de la culture du maïs en Tunisie*, INRAT.
- FRAJ M., JOUHRI A. (1977, 1985) : *La culture du maïs en Tunisie : Essais variétaux, hybrides, précocités, dates de semis, peuplements à l'ha, rendements en grain et en fourrages*, rapports d'activité, INRAT.
- FRAJ M., LAHMAR M., ABDOULI H. (1993) : "Production et valeur alimentaire du maïs plante entière en Tunisie", *Fourrages*, 133, 83-96.
- FRAJ M., FTIRICH A., ARRAK K. (1996) : "Rentabilité de l'ensilage de maïs par rapport à l'ensilage et au foin de vesce-avoine en Tunisie", *Fourrages*, 146, 181-188.
- HALLAUER A.R., MIRANDA J.B.F. (1981) : *Quantitative genetics in maize breeding*, The Iowa State University Press, p. 168-170.
- JOSEPHSON J.M., KINCER H.C. (1976) : "Mass-selection for yield in corn", *Agron. Abstr.*, p. 54.
- Ministère de l'Agriculture (1990) : *VIII^e Plan (1992-1996), Secteur de l'Élevage. Etude rétrospective préliminaire du VII^e Plan (1987-1991)*.
- PADGETT C.H., COMPTON W.A., LONNQUIST J.H. (1968) : "Divergent mass-selection in corn (*Zea mays* L.) for seed size", *Agron. Abstr.*, p. 16.
- SIMMONDS N.W. (1979) : *Principles of Crop Improvement*, 133-146, Longman Inc., New York and London.

SUMMARY

Genotypic variation among maize cultivars created in Tunisia

Hybrid maize in Tunisia, under irrigation and favourable climatic conditions, achieves undeniable good performances. However, when the conditions are less favourable, its utilization becomes risky, because of the narrow genetic variation. At the ESA in Mateur, 16 composites were created from local genetic material and compared with 8 foreign hybrids (morphological components and dry matter and grain yields). The hybrids have larger cob and dry matter contents and greater grain yields (63.1 t/ha) than the composites, but the latter are leafier (especially the earlier ones), more prolific (1.3 cob/plant), have more grains per cob, are higher-yielding (21.9 t DM/ha), but have larger stem contents (especially the later-heading ones). In view of their observed performances, the composites locally created are of interest under limiting conditions, especially for silage.