

# Utilisation du gène brown-midrib-3 pour l'amélioration du maïs fourrage. II. Sélection récurrente de populations

Yves BARRIÈRE, André GALLAIS & Henri BERTHET

*I.N.R.A., Station d'Amélioration des plantes fourragères, F 86600 Lusignan*

## RÉSUMÉ

L'étude de 2 synthétiques bm3 confirme les difficultés de la sélection de matériel brown-midrib. Au premier cycle, la variabilité de ces pools pour la productivité est faible, avec des gains attendus par cycles également faibles. La variabilité pour la digestibilité des plantes entières y est faible, non liée ou liée positivement avec la productivité. Seul le second cycle de la synthétique cornée a été étudié après l'échec des intercroisements de la synthétique dentée en condition non irriguée. La variabilité pour la productivité, et son héritabilité, apparaissent plus élevées qu'au premier cycle, avec des gains attendus également plus élevés. Mais la valeur moyenne de ces descendance semble plus faible en productivité qu'au premier cycle quand elle est estimée relativement aux témoins. La sélection récurrente de populations bm3 devra être réalisée dans des pools en disjonction dont les géniteurs normaux auront été préalablement triés pour leurs très bonnes aptitudes à la combinaison.

**Mots clés additionnels :** *Maïs ensilage, variabilité génétique, digestibilité in vitro, héritabilité.*

## SUMMARY

*Breeding maize for silage use with the gene brown-midrib-3. II. Recurrent breeding of synthetics.*

Studies of 2 bm3 synthetics bear out the difficulties in breeding bm3 genotypes. Observed at the first cycle of breeding, the genetic variability for whole crop yield was narrow in these 2 pools, with low expected gain per breeding cycle. Genetic variability for *in vitro* digestibility was also narrow, with no or a positive correlation with yield. For the second cycle, only the flint synthetic has been observed because of failures in intermating the dent one in dry conditions 2 consecutive years. Variability and heritability of yield were higher than those observed for the first cycle, with an expected genetic gain also higher. But the average yield of this flint synthetic seemed lower for the second cycle when measured in percent of control hybrids. Recurrent breeding of bm3 genotypes should be done in mixed normal, bm3 pools, with a continuous input of elite new lines.

**Additional key words :** *Silage maize, genetic variability, in vitro digestibility, heritability.*

## I. INTRODUCTION

L'amélioration de la valeur alimentaire du fourrage récolté est un des objectifs de sélection spécifique du maïs ensilage, parallèlement aux travaux faits sur la productivité, la précocité ou la résistance à la verse en végétation. S'il est possible d'exploiter la variabilité qui existe dans le matériel classique, une autre voie consiste à utiliser l'amélioration nette apportée par le gène brown-midrib bm3, dont les caractéristiques et principaux effets ont déjà été rapportés (BARRIÈRE *et al.*, 1988). Les premiers travaux avec ce gène ont utilisé la méthode des rétrocroisements, puis des sélections généalogiques dans des dépôts à base génétique étroite entre des lignées reconverties sous forme bm3 et des lignées

normales. La valeur agronomique du matériel ainsi obtenu est en moyenne faible, même si ce résultat doit être en partie pondéré par celle du matériel normal utilisé (BARRIÈRE *et al.*, 1988). Cette dépression peut aussi être due au déséquilibre de balance interne (DEMARLY, 1977) consécutif à l'introduction du bloc chromosomique portant le gène bm3 dans les différents génotypes, en dehors de l'effet propre possible de ce gène. Des programmes de sélection récurrente de populations ont alors été développés pour tenter de réaliser la coadaptation des génomes en sélection au gène bm3. VASAL *et al.* (1980) semblent ainsi avoir obtenu une amélioration notable de la valeur agronomique de populations opaque 2.

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les 2 synthétiques bm3 dentées et cornées ont été constituées à partir de croisements entre respectivement les synthétiques FS10 et FS11 développées à la station de St Martin de Hinx (BERTIN *et al.*, 1976), triées pour la précocité à Lusignan, et de 2 synthétiques bm3, elles-mêmes issues du croisement de 2 synthétiques de lignées bm3 « dentées » (F113bm3, A619bm3, W33bm3, W64Abm3, W182Ebm3, W401bm3) et « cornées » (F7bm3, F2bm3, F16bm3, F19bm3, F120bm3, F186bm3, F192bm3, EP1bm3) par 2 synthétiques précoces de la station de Mons. Pour chacune des synthétiques bm3, le tri pour le caractère brown-midrib a été réalisé en ne retenant que les plantes bm3 dans les isolements d'intercroisements des descendance F2 inter-populations.

En pépinière en 1983 ont été produits respectivement 201 et 268 croisements de plantes S0 cornées et dentées par les testeurs respectifs W401bm3\*F186bm3 et F7bm3\*F2bm3 (cycle 1). Les plantes S0 choisies ont été simultanément autofécondées. Les essais des descendance top-cross ont été réalisés en 1984 à Lusignan en parcelles d'une ligne et de 4m<sup>2</sup> suivant un protocole en blocs incomplets équilibrés à 3 répétitions. Les essais étaient regroupés en 2 blocs de récolte de respectivement 3 et 4 essais correspondant aux matériels cornés et dentés.

Les intercroisements des descendance retenues dans chacune des 2 populations ont été réalisés en isolement à Lusignan en 1985, avec maintien des filiations maternelles. Toutefois celui de la synthétique dentée sera abandonné en raison d'une très mauvaise pollinisation et fécondation en parcelle assez séchante, alors que la synthétique cornée placée dans des conditions similaires pollinisait et fécondait normalement; refait en 1986, cet intercroisement sera de nouveau abandonné pour la même raison. Le travail de sélection sur ce matériel denté ne pourra donc être repris qu'après amélioration de son niveau de tolérance à la sécheresse.

En pépinière en 1986 ont été produits 180 croisements de plantes S0 cornées issues de l'intercroisement des 49 S0 sélectionnées au cycle précédent par le testeur F113bm3\*W401bm3, dont la valeur en combinaison est très proche de celle de W401bm3\*F186bm3 utilisé au premier cycle (BARRIÈRE *et al.*, 1988). Cet hybride ne comprend pas la lignée F186bm3 qui semble induire une plus faible amélioration de la valeur alimentaire (MALTERRE *et al.*, 1985), et qui n'est plus utilisée dans les hybrides actuels sous forme normale. De même qu'au premier cycle, les plantes S0 choisies ont été simultanément autofécondées. Les essais des descendance top-cross ont été réalisés en 1987 à Lusignan en parcelles identiques à celles utilisées pour le premier cycle. Les différents génotypes ont été répartis au hasard dans 3 essais en blocs incomplets équilibrés à 3 répétitions, et les essais regroupés en un unique bloc de récolte. Un orage de la mi-juillet a permis de plus une notation de sensibilité à la verse en végétation entre 0 (résistant) et 4 (très sensible).

Afin de pallier en partie la sécheresse estivale de Lusignan, 70 mm d'irrigation ont été apportés en 2 fois chaque année sur chacun des essais.

Pour le premier cycle, l'analyse génétique des 2 populations bm3 a d'abord été conduite essai par essai avec classiquement des effets blocs, sous-blocs hiérarchisés aux blocs et génotypes. Pour avoir des estimations globales de la variabilité génétique intrapopulation, des récapitulations pour chacune des 2 populations cornées et dentées ont ensuite été réalisées en tenant compte des contraintes imposées par les programmes d'analyse de variance utilisés et des imperfections des protocoles expérimentaux employés. Les essais ont ainsi été regroupés et analysés avec des effets sous-blocs et génotypes, en renumérotant chacun d'eux de façon séquentielle, méthode qui prend en compte l'ensemble de l'information en un seul calcul, effet bloc exclu quand la majeure partie de la variation locale est en fait au niveau des sous-blocs. Les résultats obtenus de cette façon ne sont pas différents de ceux que l'on obtient en fusionnant les matrices de variance-covariance élémentaires de chacun des essais, mais le calcul est plus rapide et plus simple. Pour le second cycle, cette même méthode globale de calcul a été utilisée, avec un risque de biais plus faible en raison de la randomisation des génotypes dans les essais. Le suivi des filiations maternelles dans les isolements d'intercroisement a de plus permis une estimation des composantes de la variance en dissociant un effet famille maternelle, et un effet individu hiérarchisé dans la famille.

Les héritabilités univariées ont été estimées classiquement par  $h^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + (\sigma_e^2/n))$  où  $\sigma_g^2 =$  variance génétique,  $\sigma_e^2 =$  variance résiduelle,  $n =$  nombre de répétitions. La mesure simultanée de plusieurs caractères non indépendants a permis le calcul des héritabilités multivariées (GALLAIS & VINCOURT, 1983). L'héritabilité multivariée, comme l'héritabilité univariée, représente la corrélation entre les valeurs génétiques vraies et les valeurs génétiques prévues au travers des valeurs phénotypiques. Elle s'exprime aussi par le rapport de la variance des valeurs génétiques prévues à la variance des valeurs génétiques vraies.

Les calculs ont été réalisés avec les programmes Anvarm et Calea pour les analyses de variance et les estimations des composantes de la variance en modèle aléatoire (AMANCE, BACHACOU *et al.*, 1981). Les héritabilités multivariées et les espérances de progrès génétique ont été calculées avec le programme Hender (VINCOURT & GALLAIS, 1983).

Les mesures de qualité ont été réalisées sur les génotypes du premier cycle de sélection seulement et dans les conditions précédemment décrites: étalonnage avec 80 échantillons et mesures en routine sur infra-analyser (BARRIÈRE *et al.*, 1988).

Les descendance retenues en sélection généalogique après le premier cycle ont été semées en pépinière en 1985, autofécondées et simultanément croisées à 2 testeurs (W401bm3\*F186bm3 et F113bm3\*W401bm3 pour les dentées, F7bm3\*F2bm3 et F2bm3\*F16bm3 pour les cornées). La valeur en combinaison de ce matériel a été étudiée à Lusignan en 1986 suivant un protocole similaire à ceux déjà présentés. En raison de la complexité du modèle (en particulier plusieurs niveaux de hiérarchie sur des facteurs croisés), les analyses de variance ont été réalisées avec le programme Modli (KOBILINSKY, INRA-Biométrie).

TABLEAU I

*Variabilité génétique dans les synthétiques cornées et dentées bm3 - cycle 1 (essais 1984 - Lusignan).**Genetic variability of flint and dent bm3 synthetics - 1st cycle (1984 trials - Lusignan).*

	rdt	% ms	h épi	h plt	cell	adf	dig TT	dig E
<b>Synthétique cornée</b>								
moyennes	10,34	27,59	63,94	137,15	17,12	19,83	75,94	93,63
F génotype	1,53**	2,40**	4,09**	4,15**	1,68**	1,59**	2,01**	1,40**
var. génétique	0,27	0,64	23,64	59,06	0,10	0,15	0,27	0,07
héritabilité	0,38	0,62	0,64	0,78	0,44	0,40	0,53	0,32
héritabilité m	0,53	0,74	0,79	0,80	0,55	0,56	0,66	0,70
<b>Témoins</b>								
Lg11bm3	9,90	29,34	60,42	128,14	16,82	19,31	75,06	93,47
Brulouis N	10,48	31,91	61,67	138,24	—	—	—	—
Dea N	12,15	28,91	67,21	155,94	—	—	—	—
<b>Synthétique dentée</b>								
moyennes	12,22	26,69	74,12	157,24	17,11	19,91	74,84	93,45
F génotype	1,82**	2,66**	3,80**	3,64**	1,49**	1,52**	3,12**	2,21**
var. génétique	0,49	0,87	35,22	79,24	0,09	0,17	0,57	0,28
héritabilité	0,49	0,66	0,76	0,75	0,36	0,37	0,71	0,58
héritabilité m	0,65	0,75	0,80	0,78	0,54	0,50	0,78	0,67
<b>Témoins</b>								
Lg11bm3	10,52	30,07	61,68	143,43	16,56	19,11	73,99	92,98
Brulouis N	12,31	32,16	63,95	153,51	—	—	—	—
Dea N	14,37	29,96	72,36	172,67	—	—	—	—

rdt = rendement plante entière en t/ha ; whole crop yield (t/ha).

% ms = teneur en matière sèche plante entière ; dry matter content of the whole crop.

h épi = hauteur épi ; ear height.

h plt = hauteur plantes ; plant height.

cell = teneur en cellulose brute ; cellulose content.

adf = teneur en fibres ; acid detergent fiber content.

dig TT = digestibilité Tilley et Terry ; Tilley and Terry digestibility.

dig E = digestibilité enzymatique (amylase, pepsine, cellulase) ; enzyme digestibility.

héritabilité m = héritabilité multivariée ; multivariate heritability.

— = calibration établie sur des échantillons bm3 ; no appropriate infra-red calibration for normal control analysis.

### III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### A. Etude du premier cycle des populations cornée et dentée

Les différents résultats sur ces 2 synthétiques bm3 sont présentés dans le tableau I. En raison d'un effet de terrain, puisque ce résultat se retrouve dans les mêmes proportions pour les témoins, la productivité des S0 cornées apparaît plus faible. Les effets génotypes sont significatifs au seuil de 1 p. 100 pour l'ensemble des caractères mesurés.

La variabilité pour le rendement en matière sèche est plus élevée dans la population dentée que dans la population cornée, avec des écarts-type génétiques respectivement proches de 0,7 et 0,5 t/ha. La population dentée est en moyenne 0,9 point plus tardive, mais les écarts-type génétiques des 2 populations pour la précocité sont très proches, valant 0,9 et 0,8 points de matière sèche. La variabilité pour les caractères de hauteur va classiquement dans le même sens que celle du rendement. La variabilité pour la teneur en cellulose est très faible, avec un écart-type génétique voisin de 0,3 pour des valeurs moyennes proches de 17 p. 100 ; de même pour la teneur en fibres où les écarts-type génétiques valent 0,4 pour des moyennes de 20 p. 100. Enfin

si les digestibilités de ce matériel sont élevées, les écarts-type génétiques pour ces mesures sont très faibles, inférieurs à 1 point, correspondant donc à des progrès possibles limités, mais aussi à des risques de dérive très faibles.

L'héritabilité du rendement apparaît un peu faible au niveau parcellaire, et ceci peut être relié à la relative faiblesse de la variabilité génétique pour ce caractère. Les approches multivariées permettent d'améliorer assez nettement l'efficacité des choix, puisque les héritabilités multivariées sont régulièrement plus élevées.

Les teneurs en cellulose brute ou en fibres ne sont pas en soi un critère de qualité puisque c'est à la digestibilité de celles-ci qu'est liée la valeur alimentaire, même si des teneurs en adf (acid detergent fiber) élevées peuvent être un indice de lignification importante. Les corrélations génétiques entre les teneurs en cellulose ou en adf, et la digestibilité estimée par la méthode jus de rumen sont d'ailleurs faibles (0,28 ou 0,24 dans la population cornée ; 0,29 ou 0,39 dans la population dentée). Ces mêmes corrélations sont en revanche plus élevées quand la digestibilité est estimée par la méthode enzymatique APC (0,70 ou 0,75 dans la population cornée ; 0,72 ou 0,60 dans la population dentée). Ce résultat peut sans doute s'expliquer par le pouvoir tampon du test réalisé par des microorganismes, lié semble-t-il à une certaine impossibilité d'une digestion complète, causée ou non

TABLEAU 2  
*Variabilité génétique dans la synthèse cornée bm3 - cycle 2 (essais 1987 - Lusignan).*  
*Genetic variability of flint synthetic - 2nd cycle (1987 trials - Lusignan).*

	rdt	% ms	h épi	h plt	vv	flo
Synthétique cornée						
moyennes	11,09	31,96	70,59	138,60	3,54	202,79
F génotype	2,57**	2,34**	2,15**	1,96**	1,25*	2,56**
var. génétique	1,33	1,75	15,17	39,17	0,02	1,75
héritabilité	0,64	0,61	0,57	0,53	0,22	0,64
héritabilité m	0,70	0,73	0,68	0,72	0,76	0,70
variance famille	0,23	0,59	0,57	10,94	0,02	0,38
variance ind./fam.	1,10	1,17	14,60	28,33	0,00	1,38
héritabilité fam.	0,23	0,22	0,04	0,18	0,22	0,29
Témoins						
Brulouis N	13,92	34,17	73,13	152,36	3,26	199,23
Dea N	17,64	32,15	74,94	160,60	2,72	202,87

rdt = rendement plante entière en t/ha ; whole crop yield (t/ha).

% ms = teneur en matière sèche plante entière ; dry matter content of the whole crop.

h épi = hauteur épi ; ear height.

h plt = hauteur plantes ; plant height.

vv = verse en végétation ; lodging.

flo = floraison femelle en quantième de l'année ; date of mid-silking.

variance famille = variance génétique due à l'effet famille maternelle ; genetic variance related to maternal family effect.

variance ind./fam. = variance génétique due à l'effet individu dans la famille maternelle ; genetic variance related to progeny within the maternal family.

héritabilité m = héritabilité multivariable ; multivariate heritability.

héritabilité fam. = héritabilité au niveau famille maternel ; heritability between maternal families.

par l'absence d'évacuation des produits de la digestion. Le test enzymatique met en évidence un potentiel de digestibilité, qui est effectivement lié à la teneur en composants les moins digestibles (lignines et celluloses).

Les corrélations génétiques entre la productivité en plante entière et les 2 critères de digestibilité *in vitro* sont nulles ou positives (de -0,04 à 0,50). Mais elles sont élevées et négatives entre la teneur en matière sèche et ces mêmes critères de digestibilité (de -0,60 à -0,96).

Les meilleures descendance ont une productivité de 1 à 1,5 t/ha de matière sèche supérieure au meilleur témoin (différence non significative car les ppds se situent à 1,9 et 2,0 t/ha), avec une perte corrélative en précocité de 1,0 à 2,5 points de matière sèche. 21 descendance S1 cornées et 11 dentées ont pu être conservées en sélection généalogique. De même, sur les résultats de ces essais, ont été conservées en sélection récurrente 49 descendance S1 dans la population cornée et 47 dans la population dentée, ce qui correspond à des pressions de sélection de 24,4 et 17,5 p. 100, ou à des intensités de sélection 1,30 et 1,45. Il est possible d'estimer dans ces conditions les gains attendus sur chacune des variables dans le cas d'une sélection sur index. Avec un tri orienté uniquement sur le rendement, les gains attendus sur ce caractère seraient de 0,5 et 0,8 t/ha pour respectivement les populations cornée et dentée, entraînant des pertes corrélatives de précocité de 0,4 et 0,7 point de matière sèche. Il y aurait dans les 2 cas un effet légèrement favorable sur la qualité en raison des corrélations génétiques positives ou nulles entre le rendement et les 2 critères de digestibilité. Les gains à attendre après ce cycle de sélection sont en fait plus faibles en raison d'une pondération indispensable entre productivité et précocité. Dans ces conditions, et

avec une sélection sur index, les gains en rendement n'atteindraient que 0,3 et 0,6 t pour les populations cornée et dentée, avec des effets corrélatifs sur la précocité de -0,4 et -0,2 point, et cela sans effet sur les 4 critères de qualité. Ces progrès attendus très faibles par cycle de sélection sont liés à la faible variabilité génétique des 2 populations, malgré une base génétique qui pouvait être considérée comme relativement large, ainsi qu'au choix qui consiste à privilégier la conservation de la variabilité et des possibilités de recombinaison aux progrès génétiques à court terme.

## B. Etude du second cycle de la population cornée

Les différents résultats concernant le second cycle de sélection récurrente réalisé sur la population cornée sont présentés dans le tableau 2. La variabilité observée pour le rendement paraît plus élevée qu'au premier cycle, avec un écart-type génétique de 1,2 t/ha, et il en est de même pour la teneur en matière sèche avec un écart-type génétique de 1,3 point. L'héritabilité du rendement paraît également plus élevée. La variance génétique observée est essentiellement une variance due à un effet individu dans les familles plutôt qu'à un effet famille. La corrélation inter-famille parent-descendants est d'ailleurs relativement faible pour le rendement ( $r = 0,27$ ) comme pour la précocité ( $r = 0,41$ ). La sensibilité à la verse en végétation de ce matériel est élevée, avec de plus une très faible variabilité de ce caractère dont l'écart-type génétique n'est que de 0,12 point, excluant pratiquement toute possibilité d'amélioration, même si l'héritabilité au niveau multivariable en est élevée. Avec la même intensité de sélection que précédemment ( $i = 1,30$ ), le progrès à attendre en rendement à partir

de cette génération est de 1,3 t/ha avec une sélection sur index sur ce caractère seulement conduisant à une diminution de précocité de 0,5 point de matière sèche. La pondération entre productivité et précocité conduit à un gain de rendement attendu de 1,2 t/ha, sans effet sur la précocité, valeur 4 fois plus élevée que celle attendue à l'issue du premier cycle.

En l'absence du semis des 2 cycles de la population cornée la même année, on peut envisager d'estimer de façon approchée le progrès réalisé entre les 2 cycles en rapportant les valeurs moyennes de la population à celle des témoins (tabl. 3). En fait les niveaux de rendement

TABLEAU 3

*Comparaison des 2 cycles de la synthétique cornée.  
Comparison of the 2 cycles of breeding in the flint synthetic.*

	Cycle 1		Cycle 2	
	rdt	% ms	rdt	% ms
S. cornée	10,34	27,59	11,09	31,96
S0 retenues	11,40	28,51		
Brulouis	10,48	31,91	13,92	34,17
Dea	12,15	28,91	17,64	32,15
% témoins	91,34	90,72	70,28	96,38

rdt = rendement plante entière en t/ha ; whole crop yield (t/ha).  
% ms = teneur en matière sèche plante entière ; dry matter content of the whole crop.

des témoins sont très différents les 2 années, avec une valeur de près de 4,5 t/ha supérieure en 1987, qui s'explique en grande partie par une pluviométrie moins limitante en 1987 (236 mm en juin, juillet, août) qu'en

1984 (135 mm), pour des sommes de températures presque similaires pendant la même période (4 277 degrés-jours en 1987, 4 480 en 1984), correspondant à une fin de printemps plus fraîche en 1987. Dans ces conditions, la productivité du second cycle apparaît nettement inférieure à celle du premier cycle quand elle est mesurée en valeur relative des 2 témoins BRULOUIS et DEA. Deux explications non exclusives peuvent être envisagées pour expliquer ce recul apparent de productivité entre cycles. La première serait l'absence effective de progrès liée à des phénomènes de dérive soit pendant les intercroisements en condition non irriguée, soit en raison de biais consécutifs à un choix de génotypes en nombre un peu faible pour estimer la valeur de chacun des cycles (201 et 180 génotypes). La seconde serait liée à un comportement différent des génotypes normaux et bm3 dans les 2 conditions de culture, avec en particulier une inaptitude des génotypes bm3 à exploiter au mieux des conditions plus favorables. L'effet de changement de testeur entre les 2 cycles (F113bm3\*W401bm3 au lieu de W401bm3\*F186bm3) est à exclure en raison de leur valeur similaire (BARRIÈRE *et al.*, 1988), et cela est de nouveau confirmé lors de l'étude présentée dans le tableau 4. La précocité du deuxième cycle, estimée dans ces conditions, paraît un peu supérieure à celle du premier cycle ; mais dans ce cas une faible partie peut résulter du changement de testeur.

### C. Etude des descendance retenues en sélection généalogique

La valeur agronomique des S1 obtenues à partir des plantes S0 retenues à l'issue du premier cycle est donnée dans le tableau 4. Une grande partie des différences entre S1 est liée à un effet S0, plutôt qu'à des effets de

TABLEAU 4

*Valeur en combinaison des descendance en sélection généalogique (essais 1986 - Lusignan).  
Combining ability of pedigree progenies (1986 trials - Lusignan).*

	Plantes S0			Plantes S1		
	nbr	rdt	% ms	nbr	rdt	% ms
S0 et S1 cornées	21	11,80	28,51	116	13,02	29,85
5 meilleures S1					15,51	30,47
testeur W401bm3.F186bm3					13,04	29,63
testeur F113bm3.W401bm3					13,02	30,06
F testeur					0,0ns	12,1**
F famille C1					4,9**	18,5**
F individu C2/famille C1					1,0ns	1,4ns
Brulouis					14,03	32,40
Dea					17,30	30,26
S0 et S1 dentées	11	11,97	26,51	44	12,45	26,51
5 meilleures S1					14,05	26,63
testeur F7bm3.F2bm3					12,12	25,79
testeur F2bm3.F16bm3					12,77	27,22
F testeur					11,9**	37,5**
F famille C1					5,1**	8,2**
F individu C2/famille C1					2,1**	2,4 *
Brulouis					13,45	31,75
Dea					14,16	30,59

nbr = nombre de descendance observées ; number of observed progenies.  
rdt = rendement plante entière en t/ha ; whole crop yield (t/ha).  
% ms = teneur en matière sèche de la plante entière ; dry-matter content of the whole plant.

disjonction au sein de chaque S0, en particulier pour les descendances cornées. Comparée au cycle 2 dont les témoins sont au même niveau de productivité, la valeur moyenne des S1 cornées est supérieure d'environ 2 t, avec une précocité similaire. Les meilleures S1 cornées ou dentées sont proches ou inférieures au meilleur témoin, avec une précocité nettement plus faible des descendances dentées. Les 2 testeurs du matériel corné ne sont pas différents en productivité, et très proches en précocité. Au contraire, les testeurs du matériel denté sont un peu différents, F2bm3\*F16bm3 confirmant ici sa meilleure productivité et une bonne aptitude à la maturation rapide en plante-entière. Dans les 2 cas les effets familles sont supérieurs aux effets individus dans famille.

#### IV. CONCLUSION GÉNÉRALE

Ces résultats confirment à nouveau la dépression de rendement liée à la présence du gène ou du bloc chromosomique bm3. Ils montrent de plus la difficulté de progresser sur ce matériel, même en sélection récurrente. Il ne semble guère envisageable d'amener dans ces conditions ces populations, avec une base génétique de départ dont le niveau n'était pas très élevé, au niveau du matériel normal, qui progresse par ailleurs régulièrement. Les descendances étudiées en sélection généalogique devront confirmer leur valeur (absence d'interactions génotype\*année et/ou génotype\*milieu), et devront également conserver une valeur propre suffisante au cours des générations d'autofécondation. Un autre défaut lié à la présence des gènes brown-midrib est la sensibilité à la verse des hybrides, confirmée par les notations réalisées en 1987. Il ne semble pas que les génotypes bm3 aient un ancrage racinaire de moins bonne qualité que les génotypes normaux. Toutefois les différences induites sur la teneur et la qualité des lignines, sur la qualité des celluloses, et sur le rapport héli-celluloses/celluloses conduisent à des plantes plus souples qui versent plus facilement et se relèvent moins bien. De plus il semble bien qu'une partie importante de la rigidité de la tige soit assurée par la turgescence de ses tissus. En fin de végétation, la maturation des tiges conduit à une perte de turgescence qui provoque sur les génotypes bm3 une verse parfois très importante, sans mouvement net du pivot racinaire. Par ailleurs ces génotypes ne semblent pas plus sensibles à la pyrale ou aux pourritures des tiges, mais, à niveau d'attaque parasitaire égale, les dégâts peuvent être plus importants (ANGLADE & GALLAIS, résultats non publiés).

L'intérêt zootechnique du matériel bm3 justifierait la poursuite d'un travail de sélection, et cela d'autant plus que les études de valeur alimentaire réalisées à Lusignan tendent à montrer que ce niveau d'amélioration ne semble pas atteint avec les meilleures variétés actuellement commercialisées. Mais les éventuels hybrides bm3 devront aussi avoir une valeur agronomique compétitive avec celle de leurs meilleurs concurrents normaux, sachant par ailleurs que la valeur alimentaire des génotypes normaux ne peut qu'augmenter en raison des

efforts importants de sélection entrepris sur cet aspect. La valeur agronomique d'un tel hybride bm3 doit être raisonnée au niveau de l'atelier animal, en quantités de lait ou de viande permises par un hectare de maïs, en coût économique de la ration incluant un fourrage de base à forte valeur énergétique pour l'alimentation des animaux. Alors que le maïs est de toute manière un fourrage dont la valeur alimentaire moyenne est élevée et stable, un travail d'amélioration de sa valeur énergétique ne se justifie que pour des animaux à fort potentiel de production. Or on a des raisons de penser que l'instauration des quotas de production laitière conduit simultanément à la réduction du nombre de vaches, et à l'augmentation de leur niveau de performances individuelles, parce que c'est cette politique qui minimise les coûts métaboliques, les charges de structure et les charges de travail. Ces animaux à fort potentiel ont des besoins énergétiques élevés, besoins qui de toute façon ne peuvent pas être couverts par une ration de base, même de très bonne qualité. L'intérêt économique de génotypes bm3, ou d'ailleurs de génotypes normaux à valeur énergétique élevée, ne nécessite sans doute pas que leur productivité égale celle des meilleurs témoins normaux. L'équilibre financier entre la chute de productivité acceptable avec de tels hybrides ne peut pas se définir *a priori*, mais dépend du prix des concentrés énergétiques (orge, blé fourrager, manioc, ...), comme il dépend aussi du profit que l'éleveur peut réaliser avec d'autres spéculations sur les surfaces libérées par la culture de variétés de maïs ensilage à plus forte productivité, mais à plus faible concentration énergétique. Une approche similaire peut être faite pour les taurillons à haut potentiel qui répondent fort bien à des rations très riches en concentrés et pauvres en fourrages. Mais dans tous les cas la valeur culturale de génotypes bm3, ou de génotypes améliorés pour la valeur alimentaire, ne doit pas conduire à un risque d'usage supérieur pour les éleveurs ; et pour cela les niveaux de résistance à la verse, de stabilité du rendement et de la précocité, et même de productivité devront être aussi proches que possible de ceux des hybrides normaux.

La poursuite d'un programme de sélection de matériel bm3 nécessiterait un tri préalable très sévère des géniteurs normaux utilisés sur leurs aptitudes à la combinaison. De plus, en raison de la plus faible « vigueur » observée des descendances bm3 dans les familles en disjonction, le tri pour le caractère brown-midrib devrait être différé. En sélection généalogique, le choix des plantes bm3 devrait se faire à la génération F3 ou F4. En sélection récurrente, il sera sans doute préférable de travailler, dans un premier temps au moins, sur des pools en disjonction, en augmentant progressivement la fréquence des gènes bm3 par une récolte préférentielle limitée des plantes bm3 et par une élimination partielle des mâles normaux dans les intercroisements. En pépinière, des plantes S0 normales et bm3 seraient choisies et autofécondées, et seules les S1 ou S2 bm3 dont la valeur propre serait élevée seraient étudiées pour leur valeur en combinaison. Ce système ouvert permettra aussi d'intégrer plus facilement et plus rapidement les progrès réalisés sur le matériel normal.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bachacou J., Masson J. P., Millier C.,** 1981. *Amance 1981, manuel de la programmation statistique*. I.N.R.A., CNRF, 517 p.
- Barrière Y., Gallais A., Berthet H.,** 1988. Utilisation du gène brown-midrib-3 pour l'amélioration du maïs fourrage. I. Rétrocroisements et sélection généalogique. *Agronomie*, 8 (6), 513-519.
- Bertin C., Panouille A., Rautou S.,** 1976. Obtention de variétés de maïs prolifiques en épis, productives en grain et à large adaptation écologique. *Ann. Amélior. Plantes*, 26 (3), 387-418.
- Demarly Y.,** 1977. *Génétique et amélioration des plantes*. Masson Ed., 287 p.
- Gallais A., Vincourt P., Bertholleau J. C.,** 1983. Etude des critères de sélection chez le maïs fourrage : héritabilités, corrélations génétiques et réponse attendue à la sélection. *Agronomie*, 3 (8), 751-760.
- Malterre C., Bertin G., Gallais A., Huguet L., Micol D.,** 1985. Le maïs brown-midrib plante entière. II. Utilisation sous forme d'ensilage par les taurillons. *Bull. Tech. CRZV Theix*, 60, 43-58.
- Vasal S. K., Villegas E., Bjarnason M., Gelaw B., Goertz P.,** 1980. Genetic modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. In « *Improvement of quality traits of maize for grain and silage use* ». Ed W. G. Pollmer et R. H. Phipps, Pub. Martins Nijhoff, p. 37-72.
- Vincourt P., Gallais A.,** 1983. Sur la recherche de critères de sélection : la régression géno-phénotypique. *Agronomie*, 3 (9), 827-830.