

1987/069

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL
INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I.S.R.A.)

DEPARTEMENT DE RECHERCHES
SUR LES PRODUCTIONS VEGETALES
(D.R.P.V.)

CN0101252
F315
FOF

AMELIORATION DU MIL AU SENEGAL :

- . SYNTHESE DES RESULTATS ACQUIS
- . ANALYSE D'UN CROISEMENT DIALLELE
- . PERSPECTIVES

R A P P O R T de **T** I T U L A R I S A T I O N

Par

AMADOU FOFANA

S O M M A I R E

	<u>PAGES</u>
- RESUME	1
II - INTRODUCTION	3
III - L'AMELIORATION DU MIL AU SENEGAL	6
A - AMELIORATION DU MIL DE 1931 A 1975	6
B - AMELIORATION DU MIL DE 1976-1985	7
1. - Diversification de la base génétique du matériel	7
2. - Production de lignées	7
3. - Production de synthétiques	7
4. - Création de populations	8
5. - Amélioration de variétés	8
6. - Production d'hybrides	9
7. - Relation cycle-rendement	10
8. - Relation architecture-rendement	10
9. - Sélection pour la résistance aux maladies	11
10. - Sélection pour la résistance aux insectes	11
C. - CONCLUSION	12
IV - AMELIORATION DE LA POPULATION PS90-2 : ANALYSE D'UN CROISEMENT DIALLELE ENTRE S ₁ ISSUES DE LA POPULATION PS90-2 (1er cycle)	13
1. - Introduction	13
2. - Généralités	13
3. - Matériel et méthode	15
4. - Résultats et discussion	19

4.1 - Effets globaux	19
4.2 - Effets individuels	25
4.2.1 - Aptitude générale à la combinaison	25
4.2.2 - Aptitude spécifique à la combinaison	27
5 - Conclusion	32
V - PERSPECTIVES	33
1. - Amélioration des populations locales	33
2 - Productions de variétés synthétiques	34
3 - Production d'hybrides	35
4 - Conclusion	35
VI - CONCLUSIONS GENERALES	37
VII- BIBLIOGRAPHIE	38

REMERCIEMENTS

A Madame NDOYE, j 'adresse ma profonde reconnaissance pour ses conseils et sa disponibilité.

A Almay NDIAYE ainsi qu'à tout le personnel du Service GAM/Amélioration j 'exprime ma profonde gratitude pour leur aide précieuse.

Mes remerciements à Bassirou SALL pour sa prestation pour le calcul des données.

A Khoudia NDIAYE et Fatou Bintou NDAO qui ont bien voulu taper le rapport.

Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail tous mes remerciements.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Liste des lignées constituant, la population PS90-2.
- Tableau 2 : Performance moyenne des F_1 pour tous les caractères.
- Tableau 3 : Analyse de variance sur les hybrides issus du croisement diallèle.
- Tableau 4 : Analyse de variance d'aptitude à la combinaison.
- Tableau 5 : Rapport AGC/ASC pour Les caractères.
- Tableau 6 : Estimation des effets d'aptitude générale à la combinaison.
- Tableau 7 : Estimation des effets d'aptitude spécifique à la combinaison.
- Tableau 8 : Meilleurs F_1 pour la performance moyenne et meilleurs croisements pour L'aptitude spécifique à la combinaison.

I - RESUME

Le mil est la céréale la plus importante au Sénégal aussi bien du point de vue des surfaces cultivées que de la production. Il est essentiellement cultivé pour ses graines. Il représente l'alimentation de base d'une grande partie de la population.

Des travaux sur l'amélioration de cette plante ont été entrepris depuis 1931. Jusqu'en 1969, l'essentiel du travail était axé sur l'amélioration des populations locales. Une variété locale améliorée, le Souna 3 a été produite et vulgarisée en 1972.

De 1970 à 1975, le programme d'amélioration du mil s'est orienté vers la création des variétés ayant une architecture différente de celle des mils traditionnels et adaptées aux conditions écologiques des différentes zones de culture du mil.

Plusieurs lignées de cycles variés ainsi que deux variétés expérimentales, GAM 73 et GAM 75 furent produites durant cette période.

Entre 1976 et 1985, les travaux d'amélioration variétale ont été poursuivis par Le programme national et le programme ICRISAT qui s'est implanté au Sénégal en 1977. Trois variétés, IBV 8001, IBV 8004 et GAM 8203 issues de ces programmes sont actuellement en test de pré vulgarisation en milieu paysan.

L'analyse de l'essai diallèle conduit en hivernage 1985 a permis de connaître la nature du contrôle génétique des caractères suivants : délai de 50% Flora-ison hauteur des plantes, longueur des chandelles, nombre de talles productives par plante, poids de 1000 grains et rendement en grains.

La plus grande partie de la variation observée semble être due à l'action des effets génétiques additifs pour tous les caractères. Néanmoins, une action non négligeable des effets non additifs a été constatée pour tous les caractères sauf le nombre de talles productives par plante. Le nombre de talles productives par plante semble être le seul caractère presque entièrement contrôlé par les effets génétiques additifs.

L'estimation des effets d'aptitude générale et des effets d'aptitude spécifiques a aussi permis de sélectionner les meilleures S_1 et les meilleures combinaisons. La meilleure lignée S_1 a été $S_{1-50} \cdot S_{1-22} \times S_{1-79}$ a été la meilleure combinaison hybride.

Un programme d'amélioration variétale est, proposé avec comme objectif l'obtention de variétés plus productives pour les différentes zones de culture du mil. Un accent sera mis sur la création d'hybride F_1 qui semble être la meilleure voie pour une augmentation substantielle de la production du mil.

Le mil, Pennisetum typhoides, est une graminée originaire d'Afrique. C'est la céréale de base de nombreuses populations d'Afrique et d'Inde. Le mil est une plante diploïde $2n = 14$. Sa floraison est protogyne c'est à dire que la floraison femelle précède la floraison mâle. Cela confère au mil un mode de reproduction essentiellement allogame.

Au Sénégal, le mil est la céréale la plus importante aussi bien du point de vue de sa production que des surfaces cultivées. Il joue un rôle important dans la politique d'autosuffisance alimentaire.

Deux types de mil sont traditionnellement cultivés au Sénégal:

- Le mil hâtif ou Souna : c'est le mil le plus cultivé. Sa floraison se fait quelque soit la longueur du jour. Il représente 85% des mils cultivés. Son épi est non aristé avec de petits grains.

- Le mil tardif ou Sanio qui est très sensible à la photopériode.

C'est un mil nyctipériodique absolu. Il est généralement cultivé dans les zones les plus arrosées particulièrement dans le Sud du pays. Son épi est aristé avec des grains plus gros que ceux du mil Souna.

La culture du mil se fait sur presque l'ensemble du territoire mais principalement dans les zones Nord et du Centre. Le mil couvrirait 90% des surfaces cultivées en céréales dans la moitié Nord du Sénégal.

Le mil se cultive soit en plein champ, en culture de succession avec l'arachide ou en champ de case, revenant sur lui-même.

Malgré les acquis de la recherche en matière de techniques culturales, le mil est toujours semé sans travail du sol généralement en sec mais souvent en humide après une pluie utile. L'utilisation d'engrais est presque inexistante. Le démariage se fait parfois de façon rudimentaire. Les sarcla-binages sont parfois négligés.

Le mil est produit pour ses graines qui sont consommées après transformation en farine, sous forme de bouillies, de couscous ou de galettes. La farine de mil est aussi utilisée pour la fabrication du pain en mélange avec de la farine de blé.

Les sous produits de la graine sont utilisés pour l'alimentation des animaux. La paille de mil sert dans la confection des tapades des habitations.

Depuis l'indépendance, le Sénégal dans ses divers plans de développement économique et social a mis l'accent sur l'autosuffisance alimentaire. En effet le déficit céréalier ne cesse de s'accroître. La population céréalier ne peut satisfaire les besoins d'une population en augmentation. De ce fait, le Sénégal est obligé d'ajuster sa production céréalière en général et de mil en particulier.

Le mil constitue en effet la base de l'alimentation d'une grande partie de la population. Cependant, les rendements obtenus en milieu paysan sont faibles. Ils varient entre 500 kg et 600 kg/ha. Cette faiblesse de rendements est due en grande partie aux facteurs suivants :

- le faible rapport grain-paille des variétés cultivées en milieu paysan
- les maladies, principalement le mildiou, le charbon et l'ergot qui causent des dégâts appréciables.
- Les insectes dont le plus nuisible est la mineuse de l'épi, Raghuva
- la sécheresse qui ne cesse de s'aggraver d'année en année.

L'existence d'une grande variabilité au niveau du germplasma laisse envisager de réelle possibilité d'amélioration de la productivité du mil.

Les recherches sur l'amélioration du mil au Sénégal ont commencé en 1931. Mais c'est depuis 1970 que des efforts substantiels ont été faits par l'implantation d'un programme multidisciplinaire dont l'objectif était la création de variétés hautement productives pour une culture intensive du mil et adaptées aux différentes conditions écologiques.

La création de variétés hautement productives permettrait, de résorber le déficit céréalier.

Dans ce cadre, une variété a été vulgarisée tandis que d'autres sont en pré-vulgarisation. Le travail se poursuit en vue de créer des variétés encore plus adaptées et plus performantes. Du matériel intéressant est disponible au niveau du programme.

Dans ce rapport, nous ferons la synthèse des résultats acquis en amélioration variétale tout en mettant l'accent sur ceux obtenus entre 1976 et 1985 par le programme national de sélection et l'ICRISAT qui s'est implanté au Sénégal en 1977. Ensuite nous exposerons les résultats des travaux effectués pendant l'hivernage 1986 avant de proposer un programme de sélection,

ii - L'AMELIORATION DU MIL AU SENEGAL

A. Amélioration du mil de 1931 à 1975

Les premiers travaux sur l'amélioration variétale du mil ont débuté en 1931 avec la production de lignées imbred par la méthode de sélection pédi-grée sur deux populations locales. Deux cent treize (213) lignées furent produites. Mais ces lignées se sont avérées moins performantes que les populations locales.

D'autres méthodes furent par la suite employées (sélection massale complexe, hybridation) avec des résultats plus ou moins intéressants.

En 1961, un programme de sélection récurrente (simple et réciproque) fut entrepris sur trois populations précoces et deux populations tardives de mil. Les trois sélections récurrentes sur les populations précoces furent regroupées pour créer le Souna 2. Par la suite, l'amélioration du Souna 2 par top cross avec PC 28 et puis avec lui même a été entreprise. Huit lignées furent sélectionnées : 106-7, 108-4, 113-3, 115-4, 134-5, 142-4, 143-4 et 148-3. Ces lignées ont été recombinaées pour donner le Souna 3. Le Souna 3 a été vulgarisé en 1972.

En 1970, un programme multidisciplinaire fut implanté avec comme but la modification du rapport grain-paille c'est à dire de l'architecture des mils traditionnels. Pour cela, des croisements furent effectués entre des géniteurs nains et des mils traditionnels africains d'origines diverses. De 1970 à 1975, des lignées de 60 à 90 jours furent créées à partir des croisements ainsi que deux variétés synthétiques expérimentales GAM 73 et GAM 75. Le matériel produit, a une architecture différente de celle des mils traditionnels. GAM 73 et GAM 75 sont différentes l'une de l'autre par l'architecture générale des plantes. La variété GAM 73 renferme des plantes ayant un assez grand encombrement spatial avec des tiges généralement assez fortes mais avec des étages foliaires bien séparés les uns des autres. GAM 75 a des tiges plus fines et des chandelles plus courtes. Elle renferme des plantes à encombrement spatial réduit avec des tiges minces et des étages foliaires bien séparés.

Bien que ces variétés correspondent aux types architecturaux recherchés, leur rendement en grain a été inférieur à celui des variétés traditionnelles dans les conditions paysannes.

B - AMELIORATION DU MIL DE 1976 A 1985

t - Diversification de la base génétique du matériel

Des introductions d'origine et de nature diverses ont été faites au niveau du programme. Des croisements ont été effectués entre le matériel introduit et le matériel local dans le but d'exploiter les distances génétiques et géographiques pour l'élargissement de la base génétique du matériel de sélection. D'autres travaux basés sur 1. l'organisation et 1. l'exploitation de la variabilité génétique existante chez le mil en trois pools ont été débutés en 1977. Les premiers résultats ont permis de constituer le pool Sénégalais de l'Afrique de l'Ouest avec les meilleures populations locales existantes: SL 219, SL 187, SL 64, SL 96, SL 169 et SI. 168.

Les pools de l'Afrique de l'Est et de l'Inde n'ont pas été créés puisque le programme a été gelé par manque de moyens matériel. et humain à partir de 1978.

2 - Production de lignées

Trois cent quatre vingt rieur (389) lignées ont été sélectionnées par le programme GAM. Des Lignées performances ont été conduites en variétés. Il s'agit de H₇₋₆₆, H₉₋₁₂₇ et H₂₄₋₃₄ • H₇₋₆₆ a été la plus performante avec un rendement moyen de 1695 kg/ha (12, 6% de plus que le Souna 3). Elle est en précommercialisation.

Quatre cent une (401) autres lignées ont été produites par l'ICRISAT. Elles se répartissent comme suit :

- Cinquante quatre (54) F6 : ICMI 80001 SN à ICMI 80054
- Cent quarante sept (147) F5 : PCMI 84001 SN à ICMI 84147
- Deux cent (200) F4 : ICMI 84148 SN à ICMI 84348.

Toutes ces lignées proviennent de l'exploitation par sélection pédigrée des croisements effectués dans le programme. Elles ont été documentées pour leurs caractéristiques importantes.

3 - Production de synthétiques

Deux variétés de 65 à 75 jours (4 syn. 65 et 4 syn.75) ont, été produites. Leur évaluation pendant trois années a montré que leur rendement a été inférieur à celui du Souna 3.

Pour les cycles de 75 à 90 jours : deux variétés sont testées en milieu paysan. Il s'agit de IBV 8001 et IBV 8004 qui se sont bien comportées dans les essais multilocaux conduits durant les quatre dernières années. IBV 8001 a eu un

rendement moyen de 1759 kg/ha (1.6, 9% de plus que le Souna 3) et IBV 8004 a produit 1677 kg/ha (11,4% de plus que le Souna 3). Ces variétés ont un cycle plus court, un poids de 1000 grains plus élevé et une meilleure résistance au mildiou que le Souna 3. Leur cycle est compris entre 75 et 85 jours.

D'autres synthétiques sont soit testées dans les essais multi locaux soit en cours de création.

4 - Création de populations

Cinq populations ont été créées pour constituer des pools géniques à partir des lignées produites par le programme FED. Ce sont PS 60, PS 75, PS 90, PSM et PSAC.

Des améliorations par sélection cumulative et sélection récurrente S_1 ont été entreprises sur ces pools et d'autres populations naines 3/4 IIK, B/4 Ex Bornu, 3/4 Souna et Syn. 1-5.

Actuellement, l'amélioration de la population PS 90-2 par sélection récurrente S_1 est en cours. Le diallele constitué par croisement entre les S_1 sélectionnées pour le deuxième cycle nous a été donné pour suivi et exploitation en hivernage 1985.

5 - Amélioration de variétés

Deux variétés, Souna 3 et IBV 8004 ont été améliorées pour le rapport, grain-paille et les maladies particulièrement le mildiou. Il ressort des résultats de la comparaison des produits pour les différentes variétés que IBV 8004 (S_1) C_2 s'est mieux comportée avec un rendement de 1920 kg/ha. IBV 8004 (S_1) C_2 , le produit du deuxième cycle, a été supérieur de 14 à 31% du point de vue du rendement aux autres produits de IBV 8004. Pour le Souna 3, le produit du troisième cycle de sélection, Souna 3 (S_1) C_2 a eu un meilleur rendement en 1985 avec une amélioration de 7% par rapport au Souna 3 (S_1) C_2 (le Souna 3 Co qui était inférieur au Souna 3 (S_1) C_2 pour le rendement en 1984 a eu une mauvaise germination en 1985).

Après trois cycles d'amélioration par sélection récurrente, l'incidence du mildiou a chuté de 66% à 17% à Bambey où la pression de cette maladie a été la plus élevée.

L'amélioration de GAM 8203 pour l'homogénéité de la taille est en cours. IBMV 8401, une variété naine est aussi en train d'être améliorée pour la grosseur du grain par la méthode de rétro-croisement limité. Cette amélioration a été initiée par l'ICRISAT et nécessite une continuation.

6 - Production d'hybrides

Le projet de production d'hybrides a été initié en 1982 par l'ICRISAT. L'objectif était; de connaître les potentialités des hybrides dans les conditions écologiques du Sénégal et de cerner les problèmes d'ordre méthodologique liés à leur production,

Des paires de lignées A/B furent introduites au Sénégal à partir des USA et de l'Inde : les lignées A sont mâles stériles et les lignées B sont mainteneurs de stérilité. Les paires de lignées ont été testées dans les différentes zones écologiques du Sénégal. pour étudier leur adaptation. En général, les lignées mâles stériles ont été inadaptées du fait de leur sensibilité aux maladies et de leur très grande précocité. Elles produisent des chandelles très petites.

Néanmoins certaines des lignées mâles stériles ont été utilisées pour la production d'hybrides.

Des croisements, test (250) entre les lignées mâles stériles et des pollinisateurs d'origine locale (lignée A x parent pollinisateur) ont été réalisés. Les critères de sélection des parents mâles ont été les suivants : bon tallage, bonne longueur des chandelles, résistance aux maladies et bonne production de pollen.

Les croisements test ont été observés dans des pépinières. Les meilleurs ont été retenus pour une évaluation multilocale en station.

Pratiquement tous les hybrides produits ont été fertiles dénotant la faible fréquence des gènes de maintien de la stérilité dans le germplasma local.

Les hybrides ont été plus prolifiques que le Souna 3 mais leurs chandelles sont plus petites.

Les résultats de l'évaluation multilocale en 1985, montrent que le meilleur hybride a été ICMH 8512 (81A x F₆ GI - 19). Cet hybride a eu un rendement moyen de 2701 kg/ha soit 30% de plus que le meilleur témoin IBV 8001.

Les meilleures lignées mâles stériles ont été 81A et 111A. Parmi les parents mâles utilisés dans les croisements, IBMI 8108 et IBM 8206 ont montré une bonne aptitude générale à la combinaison.

Les résultats obtenus dans ce projet, montrent que l'utilisation des formules hybrides F₁ peut permettre d'augmenter substantiellement la production du mil. Mais leur emploi par les paysans nécessite la mise en place d'une bonne structure de production et distribution des semences. En effet, Les semences hybrides doivent être renouvelées annuellement.

L'évaluation a montré que tous les hybrides sont de taille plus petite mais sont plus prolifiques que le Souna 3.

7 - Relation cycle-rendement

L'étude des relations précocité-rendement faite sur du matériel de différentes précocités (65 à 115 jours) a montré que Les différents stades de développement (tallage, montaison et initiation florale) sont dans une certaine mesure indépendants les uns des autres. Mais la chronologie de ces événements dépend de la durée du cycle de développement. Pour les cycles précoces, l'initiation florale se fait tôt alors que l'appareil végétatif est peu développé. Cette situation entraîne une certaine compétition pour les assimilats entre ces deux stades de développement et une limitation dans la production d'assimilats. Cette interférence entre le tallage et le développement de l'appareil reproducteur semble rendre la plante plus vulnérable aux conditions de stress hybrides. L'étalement des phases de développement au niveau des cycles plus longs apporte une sécurisation vis-à-vis des aléas climatiques.

Les résultats de cette étude ont montré aussi que le cycle de développement est, sans influence sur le nombre de chandelles et de talles émis.

Mais la précocité semble réduire le développement végétatif et la taille des chandelles à cause de l'interférence entre le développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproductif. Cette réduction se fait sans modification du rapport grain-paille. En effet, la précocité implique un développement végétatif réduit de la touffe et par conséquent de la taille des chandelles conduisant à une diminution du rendement par chandelle.

Dans les conditions pluviométriques aléatoires qui règnent au Sénégal où des périodes de stress peuvent intervenir à n'importe quel stade de développement, la réduction du cycle à l'extrême semble limiter le rendement. D'après les résultats, le cycle de 85 jours semble être plus en équilibre avec le milieu.

8 - Relation architecture-rendement

Les études menées sur du matériel de structure et d'origine diversifiées ont porté sur trente quatre (34) caractères.

Il est ressorti des résultats que la paille joue un rôle significatif dans l'élaboration du rendement. Parmi les composantes du rendement, le poids des chandelles et le poids de 1000 grains ont contribué de façon permanente à la production. Le poids de chandelles par plante explique 44 à 90% de la variation

contrôlée. L'influence des autres composantes du rendement varie en fonction du site et de l'année.

Ces résultats semblent montrer qu'il faudrait éviter un profil architectural trop strict et de créer des variétés dont la diversité correspond à la diversité des sites.

Jusqu'à présent le problème de l'amélioration du rapport grain-paille n'est pas encore élucidé mais il semble qu'elle est contrôlée par les critères, poids de 1000 grains, le nombre de chandelles par plante et le nombre de talles par plante. Des études plus poussées sont nécessaires pour préciser ce résultat.

9. Sélection pour la résistance aux maladies

Les principales maladies du mil au Sénégal sont : le mildiou, le charbon et l'ergot.

Les études faites sur ces maladies ont permis de mettre au point des techniques de criblage du matériel de sélection. Le matériel est testé sous infestation artificielle pour l'identification des génotypes résistants. Ce travail a permis d'obtenir du matériel (variétés et lignées) ayant un bon niveau de résistance au mildiou. Le Souna 3 a été amélioré pour sa résistance au mildiou.

Des efforts doivent être faits pour connaître la nature des résistances observées dans le matériel et leur stabilité.

10. Sélection pour la résistance aux insectes

Des efforts considérables ont été faits pour la connaissance de l'entomofaune nuisible au mil. Parmi les insectes nuisibles, le plus important est Raghuva albipunctella. Des essais de résistance variétale contre Raghuva ont été conduits sous infestation naturelle sur les meilleures variétés (essai conjoint). Des variétés ayant un bon comportement vis-à-vis de la mineuse de l'épi ont été identifiées. La variété Souna 3 se comporte bien vis-à-vis de Raghuva. Plusieurs mécanismes de résistance ont été décelés : non préférence pour la ponte, antibiose et tolérance. Ces mécanismes sont variables selon les variétés.

C - CONCLUSION

Du matériel diversifié et ayant un bon niveau de résistance aux maladies et aux insectes a été produit ou introduit par le programme de sélection. Ce matériel est constitué de lignées, de populations, de variétés synthétiques et d'hybrides.

Une variété, le Souna 3 a été vulgarisée. Trois autres variétés plus précoces que le Souna 3 : IBV 8001, IBV 8004 et GAM 8203 de cycle compris entre 75 jours et 85 jours sont actuellement en pré-vulgarisation.

D'autres sont au stade d'évaluation multilocale en station.

Des hybrides ont été créés, les résultats ont montré que ceux-ci ont un bon potentiel de rendement qui permettrait une augmentation très substantielle de la production du mil. Deux lignées mâles stériles, 81A et 111 A ont eu un bon comportement.

L'amélioration de deux variétés (IBV 8004 et Souna 3) a été faite par la méthode de la sélection récurrente.

Des études sur l'influence du cycle sur le rendement d'une part et les relations architecture-rendement ont été faites. Il ressort des résultats que les cycles de 85 jours semblent être plus en équilibre avec le milieu. Le poids de chandelle se trouve être le caractère qui contribue le plus à la production en grain d'une plante.

La richesse du matériel disponible peut permettre de poursuivre d'une façon satisfaisante le travail de sélection variétale.

IV - AMELIORATION DE LA POPULATION PS90-2 : ANALYSE D'UN CROISEMENT DIALLELE ENTRE S₁ ISSUES DE LA POPULATION PS90-2 (1ER CYCLE)

1. Introduction

La population PS 90-2 a été créée à partir de deux recombinaisons panmictiques des meilleures lignées FED de 90 jours pour l'étude des inter-relations cycle-rendement. et architecture-rendement. Cependant, la faiblesse de la variabilité de la plupart des caractères observés en hivernage 1977 et 1978 n'a pas permis de réaliser l'objectif visé avec cette population.

La population PS90-2 est particulièrement proche de 3/4 Ex Bornu provenant du Niger pour les caractères architecturaux des plantes sauf la taille de la plante et la longueur des feuilles.

L'évaluation multilocale faite en hivernage 1979 à Nioro, Bambey et Louga sur diverses entrées a montré un bon potentiel de production de PS 90-2 comparée à 3/4 Ex Bornu et; une stabilité. Son rendement intersite a atteint 96 % de celui du Souna 3. A la lumière de ces informations, il a été décidé d'améliorer PS 90-2 pour elle-même. Cette amélioration s'est faite par sélection récurrente S₁. Deux cycles de sélection récurrente ont été faits. Les S₁ sélectionnées et utilisées pour former le produit expérimental du deuxième cycle ont été croisées deux à deux selon le modèle de croisement diallele.

2 - Généralités

Le système de croisement diallele est un outil de valeur pour les sélectionneurs dans la prise de décision sur le choix du matériel et des méthodes de sélection. En effet pour la production de variétés hautement performantes, le sélectionneur est toujours confronté aux choix des parents et des méthodes de sélection à utiliser pour atteindre son objectif. Le croisement diallele permet la détermination des aptitudes à la combinaison du matériel ayant de bonnes potentialités de production. Il donne des renseignements sur la nature des actions génétiques influençant l'expression des caractères quantitatifs. La connaissance de ces effets génétiques est indispensable au début de tout programme d'amélioration puisque permettant un choix judicieux des stratégies de sélection.

L'utilisation moderne du croisement diallèle a commencé avec le développement du concept d'aptitude à la combinaison par SPRAQUE et TATUM (1942). Ces auteurs définissent l'aptitude générale à la combinaison comme étant le comportement moyen des descendance d'un individu tandis que l'aptitude spécifique caractérise l'écart par rapport aux prévisions d'additivité. L'aptitude générale à la combinaison caractérise la moyenne des effets génétiques additifs alors que l'aptitude spécifique représente les effets génétiques non additifs.

L'analyse du croisement diallèle a été abordée sous différentes formes qui se complètent par différents auteurs (HAYMAN, 1954 a et 1954 b ; GRIFFING, 1956 et KIMPTHORNE, 1956). La méthode de GRIFFING (1956) conduit à une mesure objective des effets d'aptitude à la combinaison contrairement à celles de HAYMAN et KEMPTHORNE qui fournissent des renseignements qualitatifs concernant la nature des gènes.

En effet, GRIFFING (1956) développa quatre méthodes expérimentales correspondant aux différents types de croisement diallèle. Pour chaque méthode, il proposa un modèle fixe et un modèle aléatoire dont l'utilisation dépend des objectifs visés. Alors que le modèle fixe permet la comparaison des aptitudes à la combinaison et l'identification des meilleures combinaisons, le but visé dans le modèle aléatoire est de déterminer les composantes de la variation dues aux aptitudes à la combinaison.

HAYMAN (1954 a) et KEMPTHORNE (1956) développèrent une méthode d'analyse basée sur la détermination des effets génétiques (dominance, additivité et épistasie). HAYMAN (1954 b) proposa une analyse graphique du diallèle qui permet d'apprécier la dominance moyenne d'un caractère et d'estimer la composition en allèles dominants et récessifs de chacun des parents.

L'importance relative des différents effets génétiques donne une idée sur l'héritabilité des caractères. Elle est conditionnée par la diversité génétique des parents (GUPTA et SINGH, 1973 ; SPRAGUE et TATUM, 1942).

Le croisement diallèle a été largement utilisé chez le mil (Pennisétum typhoïdes) pour connaître le mécanisme génétique régissant les caractères quantitatifs. Cependant, les résultats rapportés dans la littérature sont divergents pour presque tous les caractères en ce qui concerne leur contrôle génétique.

En effet, des études ont montré une influence des effets génétiques additifs pour le rendement en grain (PHUL et AL., 1973, le tallage (TYIAGI et AL., 1975 ; AHMED et AL., 1973), la longueur des chandelles (Murty et AL., 1967 ; PHUL et AL., 1973), le délai de 50% floraison (PHUL et AL., 1975) et la hauteur de la plante (PHUL et AL., 1973 ; BADWAL et AL., 1973).

D'autres études prouvent aussi l'existence d'un contrôle par des gènes à action non additive pour le rendement en grain (GUPTA et HANDA, 1967), le tallage (TYIAGI et AL., 1975), la longueur des chandelles (JAIN et AL., 1961), le délai de floraison (BADWAL et AL., 1973), le poids de la graine (MURTY et AL., 1967) et la hauteur de la plante (AHLUWALIA et AL., 1962).

Les résultats divergents concernant la nature de l'action des gènes chez le mil peuvent être essentiellement dus au back ground génétique du matériel utilisé dans les différentes études. PHUL et AL. (1973) et SPRAÇUE et TATUM (1942) ont indiqué que l'augmentation de la diversité génétique entre les parents favorise l'augmentation de la variance d'aptitude générale.

Ces résultats contradictoires peuvent s'expliquer également par les interactions génotypes x environnements.

L'objectif de l'essai que nous avons, suivi en hivernage 1985 a été d'évaluer les hybrides issus du croisement diallèle entre neuf S_1 en vue de :

- Déterminer la nature des effets génétiques influençant l'expression des caractères étudiés.

- Sélectionner les meilleures S_1 pour l'aptitude générale à la combinaison pour chaque caractère.

- Sélectionner les meilleures combinaisons hybrides sur la base de l'aptitude spécifique à la combinaison pour chaque caractère.

3. Matériel et méthode

Le matériel végétal était constitué de trente six (36) hybrides issus d'un croisement diallèle entre les lignées suivantes : S_{1-22} , S_{1-36} , S_{1-50} , S_{1-82} , S_{1-144} , S_{1-160} , S_{1-179} , S_{1-181} et S_{1-206} . Ces lignées S_1 ont été produites sur PS90-2 (1er cycle) résultant de l'amélioration de PS90-2. La population PS90-2 provient de la recombinaison de lignées dont la liste se trouve au tableau 1.

Tableau 1 : Liste des lignées constituant la population PS 90-2

Parents mâles stériles	Parents mâles	Lignées
Lignées sur cy- toplasme 239D ₂ B	Mqewa	16 585, 16 586, 16 587, 16 588, 16 589
	Kajoure	16 845, 16 591, 16 592
	ANIATA	16 614, 16 615
Lignées sur cy- toplasme 23 D ₂ B	Bandiagara	16 601, 16 602, 16 603
	Goundam	16 604, 16 605, 16 607, 16 608, 16 609, 16 610, 16 611, 16 612
	Aniata	15 694, 15 686, 15 618, 15 683, 15 622, 15 644
Lignées sur cyto- plasma 1472	P ₃ Kolo	15 593, 15 594, 15 595
	Souna 3	16 624, 16 625, 16 626, 16 627, 16 628, 16 629, 16 635, 16 636, 16 637, 16 638, 16 639, 16 640, 16 641, 16 642, 16 643.

L'essai a été conduit à Bambey dans un dispositif en blocs randomisés à quatre répétitions. La parcelle élémentaire était constituée de deux lignes de 5,6 m. L'écartement a été de 0,80 m entre les lignes et de 0,80 m entre les poquets. Le démariage a été fait, à une plante par poquet.

L'engrais 10 : 21 : 21 (NPK) a été appliqué à la dose de 150 kg/ha à la préparation du terrain. Deux épandages d'urée ont été faits : 50 kg/ha au démariage et; 50 kg/ha à la montaison

Les observations ont porté sur les caractères suivants :

- Délai de 50 % floraison
- Hauteur de la plante
- Longueur de La chandelle
- Le nombre de talles productives par plante
- Les incidences des maladies (mildiou, charbon, ergot)
- Le rendement en grain par hectare.

Pour la hauteur de la plante et la longueur de la chandelle, les mesures ont été faites sur cinq plantes prises au hasard dans chaque parcelle.

L'analyse des résultats comporte une analyse de variance simple et une analyse de variance d'aptitude à la combinaison.

- Analvse de variance

Le but de cette analyse est de tester l'existence d'une différence entre les F_1 pour chaque caractère.

Le modèle mathématique est le suivant :

$$y_{ij} = \mu + b_i + g_j + e_{ij} \text{ où}$$

y_{ij} est la performance du génotype (croisement F_1)

μ est la moyenne générale

b_i est, l'effet associé aux blocs

g_j est l'erreur associée au génotypes

e_{ij} est l'erreur résiduelle

Le tableau de l'analyse variance aura la forme suivante :

Source de variation	ddl.	Somme des carrés	carré moyen
Blocs	$h-1$	S_b	
Génotypes	$g-1$	S_g	$Mg = S_g / (g-1)$
Erreurs	$(h-1)(g-1)$	Se	$Me = Se / ((h-1)(g-1))$

b et g sont respectivement le nombre de répétitions et le nombre de génotypes

Analyse d'aptitude à la combinaison

Cette analyse ne peut se faire que quand il a été décelé une différence significative entre les génotypes (croisements). Dans ce cas, elle permet de décomposer l'effet lié aux génotypes en ses composantes : aptitude générale à la combinaison et aptitude spécifique à la combinaison.

La méthode 4, modèle 2 (fixe) de Griffing (1956) a été utilisée pour l'analyse d'aptitude à la combinaison. Cette méthode concerne le cas où seulement les croisements F_1 sont testés (pas de croisements réciproques et pas de parents).

Le modèle mathématique est :

$$y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij} \text{ où}$$

y_{ij} = performance moyenne du génotype (croisement)

μ = moyenne générale

g_i et g_j = effet d'aptitude générale des parents i et j respectivement

s_{ij} = effet d'aptitude spécifique à la combinaison résultant du croisement entre le parent i et le parent j .

e_{ij} = erreur résiduelle.

Le tableau d'analyse à la forme suivante :

Source de variation	ddl.	Sommes des carrés	Carré moyen
Aptitude générale à la combinaison (AGC)	p-1	Sg	Mg
Aptitude spécifique à la combinaison (ASC)	p (p-3)/2	ss	MS
Erreur		Se	$M'e = \frac{Me}{b}$

L'erreur (M'e) permettant de tester les deux effets globaux (AGC et ASC) est $M'e = \frac{Me}{b}$ (Me étant l'erreur résiduelle de l'analyse de variance faite initialement $\frac{Me}{b}$ et b le nombre de répétitions).

Les effets individuels (\hat{g}_i et \hat{s}_{ij}) ont été estimés selon les formules proposées par Griffing (1956) pour La méthode 4, modèle fixe.

4. Résultats et discussion

Les performances moyennes de chaque croisement se trouvent au tableau 2. La comparaison des performances moyennes montre une différence significative pour tous les caractères sauf pour l'incidence de l'ergot et du charbon (tableau 3). Du fait des coefficients de variation élevés pour le mildiou aux deux phases de développement (phase végétative et phase reproductive), l'analyse du diallèle a été faite sur le rendement en grain, le nombre de talles productives par plante, le délai de 50 % floraison femelle, la longueur des chandelles, la hauteur de la plante et le poids de 1000 grains.

4.1 Effets globaux

Les résultats (tableau 4) montrent que tous les effets génétiques sont significatifs au seuil de 1% pour tous Les caractères sauf pour le nombre de talles productives par plante dont; l'effet d'aptitude spécifique à la combinaison n'est pas significatif.

Tableau 2 : Performance moyenne des F₁ pour tous les caractères

F ₁	Rendt. kg/ha	Délai 50% floraison (jour)	Hauteur plante (cm)	Long. chandelle (cm)	Nbre talles produc- tive/ plante	Poids 1000 grains (g)	Incide ce charbo (%)	Incid ce aldio végéta (%)	Incide ce aldio reprod (%)	Inciden ce Ergot (%)
S1-22xS1-36	1861	49	240,5	47,60	6	6,35	98	3,3	3,3	6,3
" xS1-50	1565	47,75	228,7	31,25	7	6,80	97	8,2	4,1	0
" xS1-82	2480	49,25	241,2	40,25	6	7,67	95	3,1	3,1	0
" xS1-144	1822	45,75	214,5	42,85	6	7,30	98	8,0	9,6	1,6
" xS1-160	1946	48,75	238,2	46,15	5	8,07	98	1,6	3,1	3,1
" xS1-179	2595	48,50	234,2	44,90	5	8,17	98	1,6	1,6	3,1
" xS1-181	2039	43,25	228,0	35,10	7	8,07	97	0	0	0
" xS1-206	1562	47	161,5	42,3	5	7,27	97	6,2	12,5	0
S1-36xS1-50	2405	52,75	253,2	48,70	6	7,50	98	25,9	27,5	0
" xS1-82	1610	50,75	247,5	44,50	5	7,25	82	34,9	36,4	0
" xS1-144	2165	48,50	261,5	50,50	6	6,75	100	21,9	23,4	0
" xS1-160	1891	50	230	53,25	4	7,77	95	25	29,7	6,3
" xS1-179	2246	46,75	238,2	45,70	6	6,87	100	7	12,5	1,6
" xS1-181	2251	46,50	244,2	45,05	5	7,67	95	21,1	25,7	0
" xS1-206	1581	51	266,5	53,00	5	7,77	94	59,9	58,9	1,6
S1-50xS1-82	2252	48,75	266,7	40,75	7	7,37	98	10,9	14,1	3,1
" xS1-144	2342	46,25	222,2	45,35	6	7,35	99	1,6	1,6	0
" xS1-160	2651	44,75	254	50,75	6	8,67	98	3,1	3,1	1,6
" xS1-179	2415	48,25	223,7	42,70	6	7,45	97	10,9	14,1	0
" xS1-181	1758	47,75	178,5	36,60	6	6,97	93	12,8	12,7	0
" xS1-206	2324	47,25	220	39,50	6	8,07	98	9,4	9,4	0
S1-82xS1-144	1894	47,75	230	39,00	7	7,47	98	9,4	20,3	3,1
S1-82xS1-160	1793	49,50	219	40,95	5	7,32	97	22,7	14,9	5,8
" xS1-179	1568	49	156,7	39,30	7	7,70	98	4,7	6,2	1,6
" xS1-181	1841	46	191,5	36,00	5	7,97	100	1,6	4,7	3,1
" xS1-206	2061	50,75	185	41,75	5	7,67	95	0	0	1,6
S1-144xS1-160	2273	47,5	220,7	48,50	5	7,75	92	18,7	25,0	0
" xS1-179	1995	50,25	219,5	38,75	6	7,32	98	1,6	3,1	4,7
" xS1-181	1639	49,50	240,7	42,00	6	6,80	98	6,2	10,5	1,6
" xS1-206	1860	48	227	43,76	5	6,92	97	6,2	14,1	1,6
S1-160xS1-179	2016	49	215	47,80	5	7,65	97	25,9		3,1
" xS1-181	1985	46,25	228,7	37,00	5	8,32	93	12,8	19,3	5
" xS1-206	1726	48,50	210,7	46,65	5	7,62	92	32,8	35,4	6,3
S1-179xS1-181	1429	45,50	193,5	32,45	6	7,02	98	3,3	1,7	1,6
" xS1-206	1271	51,25	164,7	42,05	6	6,42	88	34,1	38,9	3,3
S1-181-S1-206	1924	49,50	211,7	37,20	6	7,77	98	17,0	17,0	

Tableau 3 : Analyse de variance sur les hybrides issus du croisement diallèle

Source	dl	Rendement kg/ha	50% floraison	Hauteur plantes	Longueur chandelles	Nombre talles productives	Poids 1000 grains	Incidence mildiou végétat.	Incidence mildiou reprod.	Charbon	Ergot
Blocs	3	851653,37	1,17	177,3	33,9	3,1	2,1	71,8	121,2	12,1	150,6
Croisement	35	457581,19**	15,81**	2880,1**	101,1**	1,8**	1,1**	657,7**	722,0**	50,7	47,3
Erreur	105	134269,93	1,14	510,4	6,8	0,9	0,5	92,4	94,9	32,4	51,4
\bar{X}		1973,35	48	221,2	42,8	6	7,5	13,1	15,1		2,0
CV%		18,6	2,2	10,2	6,1	15,8	9,4	73,4	64,5	96,3	358

** : Signification au seuil de 1%

Tableau 4 : Analyse de variance d'aptitude à la combinaison

Source	dl	rendement kg/ha	50% floraison	hauteur plantes	Longueur chandelles	Nbre talles productives	Poids 1000 grains
Aptitude générale à la combinaison	8	129090,4**	6,7**	1643,8**	95,4**	166,5**	0,4**
Aptitude spécifique à la combinaison	27	106593,4**	3,1**	450,3**	6,5**	0,3	0,2**
Erreur	105	3367,5	0,3	127,6	1,7	0,2	0,1

* et ** : Signifi au seuil de 5% et 1%

Pour tous les caractères, la valeur des carrés moyens dus à l'aptitude générale à la combinaison a été supérieure à celle de l'aptitude spécifique à la combinaison. Le rapport, entre les deux carrés moyens (tableau 5) montre une prépondérance de l'aptitude générale à la combinaison pour tous les caractères sauf le rendement, en grain, le poids de 1000 grains et le délai de 50% floraison femelle. Cette prépondérance de l'aptitude générale à la combinaison dénote une influence des effets additifs pour le contrôle de ces caractères. Cela pourrait être dû au fait que les S_1 employées n'ont pas été sélectionnées. En effet selon GUPTA et SINGH (1973), l'utilisation de parents non sélectionnés dans un diallele favorise, l'aptitude générale à la combinaison.

Le nombre de tiges productives par plante semble être le caractère le plus influencé par les effets additifs des gènes. Cette forte prédominance des effets additifs pour ce caractère montre qu'il pourrait être amélioré par des méthodes simples de sélection (sélection massale, sélection récurrente S_1) qui utilisent la portion additive de la variation génétique facilement fixable. Mais selon GALLAIS (1976), cette portion additive n'est pas toujours facilement fixable puisque une forte additivité peut quelque fois coexister avec un phénomène d'hétérosis.

Pour les autres caractères montrant une supériorité de l'aptitude générale à la combinaison, la signification de l'aptitude spécifique à la combinaison pourrait permettre de conclure sur l'existence d'effets non additifs pour leur contrôle génétique.

Il serait bon d'insister sur le rendement en grain qui est un caractère complexe. Le rapport aptitude générale sur aptitude spécifique est de 1,2. Ce rapport montre que pratiquement, aucun effet n'est prépondérant comparé à l'autre. Donc le contrôle génétique du rendement en grains semble être sous l'influence aussi bien des effets additifs que des effets non additifs. Cette situation montre que l'amélioration de ce caractère devrait se faire efficacement par des méthodes de sélection exploitant en même temps les deux sources de variation génétique.

Tableau 5 : Rapport AGC/ASC pour les caractères.

	Rendement en grain	50% floraison	Hauteur plante	Longueur chandelles	Nbre talles productives par plante	Poids 1000 grains
$\frac{AGC}{ASC}$	1,2	2,16	3,7	14,7	555	;

4.2 - Effets individuels

L'interprétation des effets individuels se fera caractère par caractère. Mais nous insisterons plus particulièrement sur le rendement, en grain dont l'amélioration a été entreprise par sélection récurrente S_1 .

4.2.1 - Aptitude générale à la combinaison

Les valeurs des effets d'aptitude générale de chaque S_1 pour les différents caractères se trouvent au tableau 6.

Délai de 50% floraison

S_{1-36} , S_{1-82} et S_{1-206} ont une aptitude générale à la combinaison positive et significative. Mais les valeurs négatives des aptitudes générales semblent préférables pour la sélection pour la précocité. De ce fait les meilleures S_1 pour la précocité sont S_{1-22} et S_{1-181} qui ont des aptitudes négatives et significatives.

Hauteur de la plante

Six (6) S_1 (S_{1-22} , S_{1-36} , S_{1-50} , S_{1-144} , S_{1-160} et S_{1-179}) ont un effet d'aptitude générale positif. Parmi elles, S_{1-36} , S_{1-144} et S_{1-179} ont un effet significatif.

La meilleure lignée pour l'aptitude générale est S_{1-36} . Pour la réduction de la taille, la meilleure lignée est S_{1-206} avec un effet d'aptitude générale négatif et significatif.

- Nombre de talles productives par plante

S_{1-36} , S_{1-50} , S_{1-82} , S_{1-144} et S_{1-179} ont un effet d'aptitude positif ; S_{1-36} et S_{1-50} ont un effet significatif. Du fait de la prépondérance des effets additifs pour le nombre de talles productives. Il serait avantageux de recombinaison les meilleures S_1 pour l'aptitude générale pour l'amélioration de ce caractère.

- Longueur de la chandelle

Quatre lignées ont montré une bonne aptitude générale à la combinaison. Trois (3), S_{1-36} , S_{1-144} et S_{1-160} ont un effet d'aptitude générale à la fois positif et significatif. La meilleure lignée est S_{1-36} .

- Poids de 1000 grains

Cinq (5) : S_{1-22} , S_{1-50} , S_{1-82} , S_{1-160} et S_{1-181} ont un effet positif dont seul S_{1-160} l'a significatif.

Tableau 6 : Estimation des effets d'aptitude générale à la combinaison (\hat{g}_i)

S_1	Rendement (kg/ha)	50% floraison	Hauteur plante	Longueur chandelle	Nombre talles Productives/ plante	Poids 1000 grains
	\hat{g}_i	\hat{g}_i	\hat{g}_i	\hat{g}_i	\hat{g}_i	\hat{g}_i
S1-22	12	0,93**	1,97	- 1,66**	- 0,23	0,005
S1-36	31,98	1,32**	30,27**	6,58**	0,33*	- 0,25
S1-50	275,21**	- 0,36	5,34	- 0,95*	0,66**	0,07
S1-80	- 40,82	0,86**	- 10,31*	- 2,79**	0,23	0,11
S1-144	29,08	- 0,36	8,91*	1,21**	0,23	- 0,29**
S1-160	70,84	- 0,25	6,69	4,11**	- 0,76**	0,50**
S1-179	- 35,77	0,36	18,20**	- 1,23**	0,23	0,15
S1-181	- 131,51*	- 1,68**	- 7,56	- 5,83**	0,05	0,07
S1-206	- 210,98**	1,04**	- 17,59**	0,57	- 0,48**	- 0,08
SE (\hat{g}_i)	65,29	0,19	4,02	0,46	0,16	0,11

* et ** : significatif au seuil de 5% et 1% respectivement.

- Rendement en grains

Les meilleures S_1 pour le rendement sont. S_{1-22} , S_{1-36} , S_{1-50} , S_{1-144} et S_{1-160} avec un effet positif. Parmi elles, seule S_{1-50} a un effet significatif. Du fait que le rendement était le caractère visé par l'amélioration, les cinq S_1 ayant un effet positif pourraient être recombinaisonnées pour donner le produit du deuxième cycle de sélection récurrente sur PS 90-2.

L'ensemble des résultats montre que S_{1-50} associe une bonne aptitude générale pour le rendement à une bonne aptitude générale pour la hauteur, le nombre de tiges productives et le poids de 1000 grains. L'examen des valeurs g_i pour le rendement et la hauteur montre que toutes S_1 ayant une aptitude générale positive ou négative pour le rendement l'ont aussi pour la hauteur. Cette tendance semble dénoter une certaine relation entre le rendement, et la hauteur des plantes. Il semblerait qu'il ait une liaison positive entre l'augmentation de la taille et l'augmentation du rendement.

4.2.2 - Aptitude spécifique à la combinaison

Le tableau 7 montre les effets d'aptitude spécifique de chaque combinaison hybride pour chaque caractère.

- Délai de 50 % floraison

Dix neuf (19) croisements présentent un effet positif. Mais ces valeurs positives des $\hat{\sigma}_{ij}$ pour le délai de 50% floraison ne sont pas préférables pour la sélection pour la précocité. Dans ce cas, les valeurs négatives des effets sont souhaitables. Parmi les dix-sept (17) croisements avec un effet négatif, $S_{1-22} \times S_{1-114}$, $S_{1-22} \times S_{1-181}$, $S_{1-22} \times S_{1-206}$, $S_{1-36} \times S_{1-179}$, $S_{1-36} \times S_{1-181}$, $S_{1-50} \times S_{1-144}$, $S_{1-50} \times S_{1-160}$, $S_{1-50} \times S_{1-206}$, $S_{1-82} \times S_{1-144}$, $S_{1-82} \times S_{1-181}$, $S_{1-144} \times S_{1-260}$ et $S_{1-179} \times S_{1-181}$ l'ont significatif. Le meilleur croisement pour la précocité, $S_{1-36} \times S_{1-179}$ a tous ses deux parents ayant un effet d'aptitude générale positif.

- Hauteur de la plante

Vingt et un (21) croisements ont, exhibé un effet positif dont. cinq (5), $S_{1-22} \times S_{1-82}$, $S_{1-22} \times S_{1-179}$, $S_{1-36} \times S_{1-206}$, $S_{1-50} \times S_{1-160}$ et $S_{1-181} \times S_{1-206}$ l'ont significatif. Le meilleur croisement, $S_{1-36} \times S_{1-206}$ renferme un parent ayant une bonne aptitude générale à la combinaison.

Tableau 7 : Estimation des effets d'aptitude spécifique à la combinaison.

	Rendement kg/ha	Détail 50% floraison	Hauteur plante	Longueur chandelle	Nbre tiges productives par plante	Poids 1000 grains
S1-22 x S1-36	156,17	0,36	- 13,44	0,10	0,43	0,87**
" x S1-50	- 695,14**	0,79	- 0,26	0,82*	- 0,43	0,79**
" x S1-82	535,95**	1,32**	27,88**	0,28	0,14	0,10
" x S1-144	- 192,63	- 1,21*	- 18,09	0,51	- 0,14	0,12
" x S1-160	- 109,38	1,68**	7,88	0,91	- 6,85 **	0,11
" x S1-179	645,09**	0,83	28,77**	5,01*	- 1,14**	0,86**
" x S1-181	185,05	- 2,39**	11,88	- 0,19	1,15**	0,53*
" x S1-206	- 212,30	- 1,35**	- 44,59**	0,61	- 0,42	0,11
S1-36 x S1-50	124,46	3,54**	- 3,59	0,29	0,004	0,21
" x S1-82	- 354,63*	0,33	6,31	2,07	- 0,54	0,05
" x S1-144	130,94	- 0,71	1,09	0,07	0,43	0,18
" x S1-160	- 185,25	0,68	- 28,19**	0,23	- 0,57	0,06
" x S1-179	276,32	- 3,17**	4,95	2,43**	0,43	0,19
" x S1-181	377,19*	- 1,42**	0,31	1,52	- 0,28	0,38
" x S1-206	- 212,92	0,40	3,209**	3,07*	0,15	0,64*
S1-50 x S1-82	44,78	0,004	10,49	1,71	0,43	0,27
" x S1-144	64,03	- 1,28**	- 17,23	2,81**	- 0,57	0,11
" x S1-160	331,70*	- 2,89**	20,70*	4,80**	0,43	0,34
" x S1-179	202,72	0,004	15,38	2,09	- 0,57	0,01
" x S1-181	- 359,04*	1,54**	- 40,51**	0,60	- 0,28	0,63*
" x S1-206	286,44	- 1,67**	11,02	2,90**	0,15	0,62*
S1-82 x S1-144	- 67,59	- 1,00*	10,16	- 2,20	0,86*	0,17
" x S1-160	- 209,80	0,65	1,38	3,36**	- 0,14	0,75**
" x S1-179	- 328,24*	- 0,46	- 35,98**	0,56	0,86*	0,28
" x S1-181	- 39,73	- 1,42**	- 11,87	1,84	- 0,85*	0,33
" x S1-206	339,75*	0,61	- 8,34	1,19	- 0,42	0,18
S1-144 x S1-160	199,99	- 0,14	- 16,09	0,39	- 0,14	0,08
" x S1-179	28,43	2,00**	3,56	4,01**	- 0,14	0,30
" x S1-181	- 231,91	3,29**	18,16	3,84**	0,15	0,45
" x S1-206	68,70	- 0,92*	14,45	0,80	- 0,42	0,17
S1-160 x S1-179	7,56	0,65	6,01	2,13	- 0,14	0,16
" x S1-181	72,81	- 0,07	8,38	4,06**	0,15	0,29
" x S1-206	- 107,17	- 0,54	- 0,09	0,81	0,57	0,26
S1-179 x S1-181	- 376,64*	- 1,42**	- 1,98	- 3,27**	0,15	0,35
" x S1-206	- 455,29	1,61**	- 20,69*	0,07	0,58	0,81**
S1-181 x S1-206	- 292,77	1,90**	26,51**	0,31	- 0,14	0,08
SE (si,j)	158,67	0,47	9,78	1,13	0,39	0,27

* et ** - Significatif au seuil de 5% et 1% respectivement.

- Longueur de la chandelle

Pour ce caractère, vingt croisements ont un effet d'aptitude spécifique avec un \hat{s}_{ij} positif. $S_{1-22} \times S_{1-179}$, $S_{1-36} \times S_{1-206}$, $S_{1-50} \times S_{1-144}$, $S_{1-50} \times S_{1-160}$ et $S_{1-144} \times S_{1-181}$ ont eu un effet à la fois positif et significatif.

Le meilleur croisement pour l'effet d'aptitude spécifique, $S_{1-22} \times S_{1-179}$ ne possède aucun parent avec une bonne aptitude générale à la combinaison.

- Nombre de tiges productives par plante

L'analyse de variance montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les différents croisements pour l'aptitude spécifique à la combinaison. Néanmoins sur la base des valeurs relatives, le meilleur croisement semble être $S_{1-22} \times S_{1-181}$ dont tous les deux parents ont un effet d'aptitude générale négatif.

- Poids de 1000 grains

Dix-neuf croisements ont exhibé un effet positif mais seuls quatre, $S_{1-22} \times S_{1-179}$, $S_{1-22} \times S_{1-181}$, $S_{1-36} \times S_{1-206}$ et $S_{1-50} \times S_{1-206}$, l'ont significatif.

Le meilleur croisement pour l'effet d'aptitude spécifique, $S_{1-22} \times S_{1-179}$ possède un parent avec un \hat{g} positif mais faible.

- Rendement en grain

Le tableau 7 montre que dix-neuf croisements ont un effet d'aptitude spécifique positif pour le rendement dont cinq, $S_{1-22} \times S_{1-179}$, $S_{1-22} \times S_{1-82}$, $S_{1-36} \times S_{1-181}$, $S_{1-50} \times S_{1-160}$, $S_{1-82} \times S_{1-206}$, l'ont significatif.

La plus grande partie des croisements possédant un effet d'aptitude spécifique positif ont un seul parent ayant un \hat{g} positif.

$S_{1-22} \times S_{1-50}$ ($\hat{g}_{ij} = -695,14$) qui est le plus mauvais croisement pour l'effet d'aptitude spécifique résulte de la combinaison de deux parents avec une bonne capacité à se combiner. $S_{1-82} \times S_{1-206}$ ($\hat{g}_{ij} = 339,75$) avec une bonne aptitude spécifique provient de la combinaison de deux parents avec une mauvaise aptitude à se combiner pour le rendement en grains.

A partir de ces considérations et pour assurer une meilleure recombinaison, le produit PS 90-2 (2e cycle) pourra être constitué avec les combinaisons ayant un effet d'aptitude spécifique positif et possédant au moins un bon parent pour l'aptitude générale à la combinaison. Les croisements suivants pourront être retenus : $S_{1-22} \times S_{1-36}$, $S_{1-22} \times S_{1-82}$, $S_{1-22} \times S_{1-179}$, $S_{1-22} \times S_{1-181}$, $S_{1-36} \times S_{1-50}$, $S_{1-36} \times S_{1-144}$, $S_{1-36} \times S_{1-179}$, $S_{1-36} \times S_{1-181}$, $S_{1-50} \times S_{1-82}$, $S_{1-50} \times S_{1-144}$, $S_{1-50} \times S_{1-160}$, $S_{1-50} \times S_{1-179}$, $S_{1-50} \times S_{1-206}$, $S_{1-144} \times S_{1-160}$, $S_{1-144} \times S_{1-179}$, $S_{1-144} \times S_{1-260}$, $S_{1-160} \times S_{1-179}$ et $S_{1-160} \times S_{1-181}$.

Le tableau 8 montre d'une part, les croisements qui ont eu les meilleures performances pour le rendement, la longueur de la chandelle, le poids de 1000 grains et la hauteur, et d'autre part les meilleures combinaisons pour l'aptitude spécifique.

En général, il semble que la performance intrinsèque d'un croisement ne conditionne pas son aptitude spécifique à la combinaison. En effet, les meilleurs croisements pour la performance intrinsèque ne le sont pas pour les effets d'aptitude spécifique.

Le croisement $S_{1-22} \times S_{1-179}$ montre une bonne aptitude spécifique pour le rendement, la hauteur de la plante et le poids de 1000 grains.

Tableau 8 : Meilleures F_1 pour la performance moyenne et meilleurs croisements pour l'aptitude spécifique à la combinaison.

Caractères	Meilleures F_1	Meilleurs croisements pour l'aptitude spécifique à la combinaison
Rendement en grain	SI-36 x SI-160	SI-22 x SI-179
Hauteur plante	SI-36 x SI-206	SI-22 x SI-82
Nombre talles	SI-22 x SI-50 ; SI-22 x SI-181 SI-50 x SI-82 ; SI-82 x SI-144 SI-82 x SI-179	SI-22 x SI-18
Longueur chandelles	SI-36 x SI-50	SI-22 x SI-179
Poids 1000 grains	SI-50 x SI-160	SI-22 x SI-179

5. CONCLUSION

L'analyse du diallèle a montré que la plus grande partie de la variation observée est due à l'action additive des gènes pour tous les caractères étudiés. Mais la signification de la variance d'aptitude spécifique à la combinaison pour le délai de 50% floraison, le poids de 1000 grains, la hauteur des plantes, la longueur des charidelles et le rendement, en grain laissent supposer une action non négligeable des effets non additifs sur le contrôle génétique de ces caractères.

Le nombre de talles productives par plante est le seul caractère qui est presque entièrement sous l'influence des effets génétiques additifs. De ce fait, l'amélioration pour ce caractère pourrait se faire par l'utilisation des méthodes de sélection qui sont basées essentiellement sur l'exploitation de la partie additive de la variance (sélection massale, sélection récurrenente S1). Pour les autres caractères plus particulièrement le rendement en grain, il serait conseillé d'utiliser pour leur amélioration des méthodes de sélection qui permettent une bonne exploitation à la fois des effets génétiques additifs et des effets génétiques non additifs. La meilleure méthode pour l'utilisation de ces deux effets génétiques se trouve être celle de la sélection récurrenente réciproque.

L'estimation des effets d'aptitude à la combinaison a permis la sélection des meilleures S1 et des meilleures combinaisons hybrides.

Pour le rendement, cinq (5) lignées ont montré une bonne aptitude générale à la combinaison. La meilleure a été S₁₋₅₀. Elle a montré une bonne aptitude générale à la combinaison pour le rendement en grain, la hauteur des plantes, le Nombre de talles productives par plante et le poids de 1000 grains.

Dix neuf combinaisons ont eu un effet d'aptitude spécifique à la combinaison positif pour le rendement. Dix sept d'entre elles possèdent au moins un parent ayant une bonne aptitude générale à la combinaison. S₁₋₂₂ x S₁₋₁₇₉ possède un bon effet d'aptitude spécifique pour le rendement, la hauteur des plantes et le poids de 1000 grains.

Dans la majorité des cas, les meilleurs croisements pour le rendement ne le sont pas pour les autres caractères. L'effet d'aptitude spécifique à la combinaison ne semble pas être lié à l'aptitude générale des deux parents. Il apparaît aussi que la valeur de l'effet d'aptitude spécifique d'un croisement ne soit pas dépendante de sa performance propre.

L'analyse du croisement diallèle nous a permis d'avoir une idée sur le contrôle génétique des caractères étudiés et aussi de sélectionner les meilleures S1 et combinaisons hybrides qui pourront être recombinaisons pour poursuivre l'amélioration de la population PS90- par sélection récurrenente.

V PERSPECTIVES

Les principales contraintes liées à la production du mil ont, été déjà identifiées. il s'agit essentiellement de La sécheresse qui sévit depuis plusieurs années, des maladies et des insectes.

Des actions ont été menées au niveau du programme pour lever ces contraintes afin d'augmenter la productivité du mil. Des variétés ont été créées dont certaines ont montré de bonnes potentialités. Les meilleures variétés ont donné après quatre années d'évaluation multilocale en milieu contrôlé des rendements moyens compris entre 1600 et 1800 kg/ha. Des essais de pré vulgarisation sont entrepris pour connaître le comportement de ces variétés en milieu réel.

En plus de ces variétés, du matériel intéressant composé essentiellement de lignées est disponible.

Dans le programme qui sera mis en place il s'agit de continuer le travail de sélection tout en mettant un accent particulier sur les populations locales. Des introductions de matériel végétal seront faites.

Le travail se fera en étroite collaboration avec le phytopathologiste et l'entomologiste pour le criblage du matériel contre les maladies et les insectes tout au long du processus de sélection.

Le programme sera articulé comme suit :

1. Améliorations des populations locales.

Des études faites sur les populations locales disponibles ont montré l'existence d'une variabilité intrapopulation pour les caractères importants. Certaines populations ont eu de bonnes potentialités de rendement.

A court terme, on se propose d'exploiter la variabilité existante au niveau des populations locales. Pour cela, il serait nécessaire de faire des prospections dans les principales zones de culture du mil pour renforcer la collection.

L'ensemble du matériel sera évalué dans les différentes zones écologiques pour une caractérisation. Les meilleures populations seront améliorées par sélection massale ou par sélection récurrente S_1 . Chaque cycle consiste en la production de S_1 , l'évaluation des S_1 et la recombinaison des meilleures S_1 .

A partir de l'évaluation des populations seront regroupées en fonction de leur cycle et d'autres caractères morphologiques. Des composites seront ainsi formées par recombinaison des meilleures populations dans chaque groupe. Ces composites pourront être par la suite améliorées par la méthode de sélection récurrente.

. Production de variétés synthétiques

Pour le moyen et le long terme, le programme s'attellera à la création de variétés synthétiques ayant, une bonne productivité pour les différentes zones de culture du mil (Nord, Centre-Nord et Centre Sud) .

Le matériel déjà disponible constitué en grande partie de lignées F_4/F_5 , est une bonne base de départ. pour la création variétale. Ces lignées seront caractérisées puis regroupées en fonction du cycle et, de la taille. Ces lignées ainsi regroupées et ayant une bonne résistance aux maladies et aux insectes, seront testées pour leur valeur en combinaison par la méthode top-cross avec un testeur à base large puis dans un diallele pour détecter celles qui ont, une bonne aptitude générale à se combiner entre elles. Les lignées ainsi retenues dans chaque groupe seront recombinaisonnées pour produire des variétés synthétiques.

Des croisements seront effectués entre du matériel local et du matériel introduit pour exploiter les distances génétiques entre les deux types de matériel .

Des populations locales (5-10) ayant de bonnes caractéristiques seront, utilisées dans les croisements avec les introductions qui seront faites au niveau du programme. Les descendances des meilleurs F_1 seront exploitées par sélection pédigrée pour la production de lignées. Cette sélection pédigrée se fera jusqu'à la génération F_4 ou F_5 . Ces lignées serviront à la création des variétés synthétiques après des tests pour leur valeur propre et pour leur valeur en combinaison. Elles seront aussi, testées pour leur comportement vis-à-vis des maladies et des insectes.

Un accent particulier sera sur la création des variétés de cycle de 65-75 jours pour les zones les plus sèches du Sénégal. (Nord du pays). Pour cela, l'introduction du matériel précoce sera favorisée dans le programme. Le matériel précoce qui sera introduit ou disponible sera croisé avec des populations locales provenant des zones sèches. Les descendances des croisements, seront sélectionnées en fonction de leur adaptation aux conditions écologiques de ces zones avant leur utilisation pour la création de variétés. -

3. Production d'hybrides;

La création d'hybrides F_1 avec utilisation de la stérilité mâle cytoplasmique sera poursuivie. Les premiers résultats montrent que des accroissements substantiels de production peuvent être obtenus avec les formules hybrides F_1 . En effet, les meilleurs hybrides ont donné un rendement supérieur de plus de 30 % à celui du Souna 3 dans les essais en station. Ces essais seront poursuivis pour confirmer ces résultats.

De nouvelles lignées mâles stériles seront introduites et testées pour connaître leur comportement dans les conditions écologiques du Sénégal. Les introductions et les lignées disponibles seront utilisées dans les croisements avec le matériel local. Les croisements test permettront de sélectionner les meilleurs parents pollinisateurs des lignées mâles stériles et, de détecter au sein du matériel local les géotypes non restaurateurs de fertilité. Les meilleurs croisements test seront évalués dans des essais multilocaux.

Pour maximiser la productivité et augmenter la qualité des hybrides, un effort sera fait pour développer des lignées mâles stériles ayant une origine locale. Pour cela, les meilleures lignées dans le matériel Local possédant les caractères de maintien de la stérilité pour une lignée mâle stérile seront utilisées. Le développement de lignées mâles stériles adaptées se fera par la méthode du backcross avec comme parent récurrent la lignée mainteneur de stérilité. Cette méthode permet d'introduire le caractère de stérilité mâle dans un matériel local non restaurateur de fertilité (mainteneur de stérilité) à partir d'une lignée mâle stérile.

Bien que la création d'hybrides F_1 soit la meilleure façon d'exploiter au maximum le phénomène d'hétérosis chez le mil, il est nécessaire pour l'utilisation des hybrides de mettre en place une bonne filière de production et de distribution des semences. Ceci parce que les semences doivent être renouvelées chaque année.

4. CONCLUSION

La conduite de ce travail nécessitera une bonne collaboration entre les différentes disciplines intervenant dans le programme.

Tout le matériel de sélection sera testé pour son comportement vis à vis des maladies et des insectes tout au long du processus, de sélection.

Il serait nécessaire qu'il ait un programme d'Agronomie pour la mise en place de techniques culturales adaptées permettant de maximiser la production. En effet, Le rendement est le produit de l'interaction du génotype et du milieu. De ce fait, l'amélioration du rendement en grain d'une plante doit passer aussi bien par l'amélioration du génotype (partie héréditaire) que par l'amélioration du milieu.

VI. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Une collection diversifiée de mil a été constituée au cours des travaux de sélection. Ces travaux ont abouti à la création de variétés. Une seule variété, Souna 3 est actuellement vulgarisée. D'autres variétés (GAM 8203, IBV 8004 et IBV 8001.) sont en pré-vulgarisation dans le milieu paysan.

Les recherches se poursuivent toujours en vue de créer du matériel plus performant et mieux adapté aux conditions écologiques des différentes zones de culture du mil.

Les actions qui seront entreprises s'intègrent dans cette optique. Un effort particulier sera fait pour valoriser les populations locales qui ont montré de bonnes potentialités de rendement.

Le matériel disponible au niveau du programme offre d'énormes possibilités pour la création de nouvelles variétés.

La recherche de variétés adaptées aux zones moins pluvieuses sera poursuivie.

Un accent sera mis sur la production d'hybrides F_1 . Les croisements seront poursuivis pour détecter les meilleures combinaisons.

Une attention particulière sera donnée au développement de lignées mâles stériles adaptées aux conditions locales.

Toutes ces actions visent la production de matériel végétal hautement productif, diversifié et adapté aux conditions écologiques des principales zones de culture de mil dans la perspective d'une augmentation de la production.

VIII - B I B L I O G R A P H I E

- 1 - AHLUWALIA, M., SHANKAR, K., JAIN, S.K., and JOSHI, A.B., 1962 - A diallel cross study of combining ability for some quantitative characters in pearl millet. II Tillering, height and yielding ability. Ind J. Genet. and plt Breed. 22 : 45-63.
- 2 - AHMED, Z., MURTY, B.R., and HARINARAYANA, G., 1973 - Combining ability for developmental traits in some advanced generations in dwarf pennisetum. Ind. J. Genet. and plt breed. 33 : 16-23.
- 3 - BADWAL, S.S., LUTHRA, R.C., GILL, B.S., and STNGII, A., 1973 - Combining ability of newly developed mâle sterile lines in pearl millet. Ind. J. Genet. and plt breed. 33 (1) : 7-12.
- 4 - BILQUEZ, A.F., 1975 -- Amélioration des mils au Sénégal. Synthèse des résultats obtenus au cours des quatre années de travail et conclusions générales. ISRA-CNRA Bamhey 52 p.
- 5 - ETASSE, C., 1969-Aspects généraux de La sélection des mils et Sorghos au Sénégal. CRA Bamhey. 18 p.
- 6 - ETASSE, C., 1969 - Amélioration du mil Pennisétum au CRA de Bamhey. Etat actuel et Orientation. Communication à la conférence céréale de Zaria/Nigéria du 13 au 16 Octobre 1969. CRA Bamhey. 9 p.
- 7 - GALAIS, A., 1976 - Sur la signification de l'aptitude générale à la combinaison. Ann. Amél. Plantes. 26 (1) : 1-13.
- 8 - GRIFFING, W.B., 1956 - Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Aust. J. Biol. Sci. 9 : 463-493.
- 9 - GUPTA, S. C., 1981 - Programme d'amélioration du mil. Synthèse des activités du programme "GAM corrigé INDIEN" (1977-1980). ISRA-CNRA Bamhey. 7 p + Ann + Tahl.
- 10 - GUPTA, S.C., 1985 -- The pearl millet improvement program in Sénégal. ICRISAT/ISRA/UNDP COOPERATIVE PROGRAM. (1977-1985). 44 p + Tabl. + Fig.
- 11 - GUPTA, V.P., NANDA, G.S., 1967 - Inheritance of grain characters in pearl millet. J. Res. P.A.U. 4 : 488-491.

- 12 - GUPTA, V.P., and SINGH, T. P., 1973 - Combining ability for yield and its components in pearl millet. Ind. J. Genet. and plant breed. 33 : 183-186.
- 13 - HAYMAN, B. I., 1954 a - The theory and analysis of diallel crosses. Genetics 3 : 789-809.
- 14 - HAYMAN, B. I., 1954 b - The analysis of diallel tables. Biometrics 10 : 235-244.
- 15 - JAIN, S.K., AHLUWALIA, M., SHANKAR, K. and JOSHI, A.B., 1961 - A diallel cross study of combining ability for quantitative characters in pearl millet. I. length and girth spike. Ind. J. Genet. and plant breed. 21 : 175-184.
- 16 - KEMPTHORNE, O., 1956 - The theory of the diallel cross. Genetics 4 : 451-459.
- 17 - LAMBERT, C., 1980 - Amélioration du mil. Rapport d'activité 1979. ISRA-CNRA Bamhey . 22 p.
- 18 - LAMBERT, C., 1983 - Influence de la précocité sur le développement du mil (Pennisetum typhoides staff et Hubbard) en conditions naturelles.
I Elaboration de la touffe.
II Elaboration du rendement.
Agron. Trop. 38 (1) : 7-26.
- 19 - MURTY, B.R., TEWARI, J. L., and HARINARAYANA, G., 1967 - Line x tester analysis of combining ability and heterosis for yield factor in Pennisetum typhoides. Ind. J. Genet. and plant breed. 27 (2) : 238-244.
- 20 - NDOYE, A.T., 1978 - Résultats des activités 1977. ISRA-CNRA Bamhey. 27 p.
- 21 - NDOYE, A.T., 1978 - Amélioration du mil. Document N° 1 : Historique des travaux effectués de l'hivernage 1975 à la contre saison 1976-1977. ISRA-CNRA Bamhey. 10 p.
- 22 - NDOYE, A.T., 1979 - Amélioration. Rapport d'activité 1978 ISRA-CNRA Bamhey, 32 p.
- 23 - NDOYE, A.T., 1981 - Amélioration du mil. Document n°4 : Exploitation des Pools de sélection pour la constitution de composites : ISRA-CNRA Bamhey. 8 p + Tabl + fig.
- 24 - NDOYE, A.T., 1981 - Amélioration du mil. Relation archi tecture-rendement. ISRA-CNRA Bamhey. 6 p.

- 25 - NDOYE, A.T., 1985 - Recherches multidisciplinaires sur le mil. Programme de sélection. Rapport, d'activité 1984. ISRA-CNRA Bamhey, 8 p + Tabl.
- 26 - NDOYE, A.T., 1986 - Amélioration variétale, étape à court terme. Exploitation du matériel existant. Document présenté à la réunion d'évaluation du programme mil du 19-21 Mars 1986. ISRA-CNRA Bamhey. 39 p + fig.
- 27 - NDOYE, A.T., 1986 - Amélioration variétale, étape à long terme. Exploitation de l'hétérosis. Document, présenté à la réunion d'évaluation du programme mil du 19-21 Mars 1986. ISRA-CNRA Bamhey. 12 p.
- 28 PHUL, P.S., NANDA, G. S. and GUPTA, S.P., 1973 - Combining ability in pearl millet. Ind. J. Genet. and plant breed. 32 (3) : 334-339.
- 29 PHUL, P.S., P.S., SINGH, T.H., and GUPTA, S.P., 1970 - Diallel analysis for earliness in pearl millet. Ind. J. Genet. and plant breed. 30 (3) : 654-649.
- 30 SARR ABOUBAKRY, 1978 - Amélioration du mil (Pennisetum typhoides). Programme entrées dynamiques : - GAM x INDIEN
 - Système tripode
 Rapport d'activité 1977-1978. ISRA-CNRA Bamhey. 92 p.
- 31 SPRAGUE, G. F., and TATUM, L. A., 1942 - General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. 34 : 923-932.
- 32 TYAGI, C. S., PARODA, R. S., ARORA, N.D., and SINGH, K.P., 1975 -- Heterosis and combining ability in pearl millet. Ind. J. Genet. and plant breed. 35 : 403-408.