

Tolérance à la sécheresse du maïs en Afrique : aptitude à la combinaison et héritabilité du phénomène de transpiration

Drissa HEMA*, Soon Kwon KIM**,
Fanja MONDEIL***, Bakary TIO-TOURE***

Résumé

La productivité du maïs est sous la dépendance de processus physiologiques et en particulier de la transpiration. En effet, les variétés les plus performantes sont celles qui ont le taux de transpiration le plus élevé ; il existe une relation étroite entre l'activité de la transpiration et le rendement grain en conditions hydriques limitantes.

A partir d'un diallele issu de six lignées de maïs testés à Bagauda (Nigéria) pendant deux années, une analyse du phénomène de transpiration dans le cadre de l'amélioration des espèces montre une variabilité des effets des aptitudes générales (AGC) et spécifiques (ASC) à la combinaison. Le taux de transpiration maximale est une caractéristique spécifique et variétale permettant de définir les notions d'adaptabilité ou d'ajustement interne. La valeur du ratio de l'AGC et de l'ASC est de 1,98, d'où une présence significative d'effets additifs. La variance (a) avec (8,71) est supérieure à celle de b (4,41). Les croisements qui donnent les meilleures valeurs en transpiration sont : TZi 9 x TZi 28 (12,52 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) et TZi 25 x TZi 28 (12,82 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$).

La transpiration a une forte héritabilité ($H_{ns} = 0,52$). Elle peut de ce fait être utilisée comme critère de sélection pour l'amélioration des génotypes.

L'utilisation du poromètre en conditions de plein champ est difficile d'où la recherche de marqueurs génétiques simples et efficaces d'une transpiration élevée.

Mots-clés : maïs, transpiration, héritabilité, aptitude à la combinaison, diallele.

Maize tolerant to drought in Africa : combining ability and heritability of transpiration

Abstract

Maize productivity is under physiological process and mainly transpiration phenomenon. The best varieties are those with high rate of transpiration ; there is a close relationship between transpiration activity and grain yield under water lack condition. A diallel cross involving 6 inbreds was carried out in a field study at Bagauda (Nigeria) for 2 years. A statistical analysis of transpiration phenomenon showed genetic variability of general (GCA) and specific (SCA) Combining ability.

Transpiration rate is a varietal characteristic in relation with adaptability and internal osmotic adjustment. GCA and SCA ratio is 1,98 showing that additive effects are present and are highly significant. The variance (a) with a value of 8,71 is greater than (b) variance with 4,41. The best crosses for transpiration are TZi 9 x TZi 28 (12,52 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) and TZi 25 x TZi 28 (12,82 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$). The narrow sense heritability (H_{ns}) calculated is high ($H_{ns} = 0,52$) showing that transpiration can be used as criteria for genotype improvement in relation to drought tolerance.

Porometer use in field condition is difficult it's why the research of simple and efficient genetic markers is the aim of our breeding program.

Key words: maize, transpiration, heritability, combining ability, diallel.

* INERA 01 B.P. 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

** IITA PMB 5320 - Ibadan, Nigéria

*** UNCI, Laboratoire de génétique, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Introduction

Le déficit hydrique du sol est la forme la plus répandue et la plus grave des stress que nous rencontrons. En effet, l'eau est le principal véhicule des substances et sa carence affecte toutes les fonctions de la plante.

Le déficit hydrique provoque dans la plupart des cas, une diminution de l'activité de la transpiration à cause de la fermeture des stomates (MISRA et GRANGWAR, 1990 ; DUTUIT et POURRAT, 1994).

Beaucoup de variétés grâce à leur ajustement interne, arrivent à réguler le mouvement de leurs stomates. HSIAO (1973) a montré qu'il existe une variabilité génétique du paramètre de la transpiration. Cette variabilité fait que le phénomène de transpiration est un facteur très important dans le cadre de la productivité céréalière en condition sèche (SINGH et KUMAR, 1981). Cependant, peu d'informations ressortent sur sa transmission.

Les objectifs du présent travail sont :

- l'étude de la variabilité génétique du paramètre de la transpiration et son utilisation dans un programme d'amélioration ;
- la relation entre le taux de transpiration et la résistance stomatique ;
- le mode d'action des gènes et l'héritabilité du caractère ;
- la relation entre la transpiration et le rendement grain par hectare à 14 % d'humidité.

Matériels et Méthodes

Matériels

A partir de six lignées de maïs (*Zea mays* L.) décrites par KIM *et al.* (1987) (tableau I) et sélectionnées sur la base de leur sensibilité à la sécheresse, on a créé un diallèle partiel comprenant un sens des croisements sans les autofécondations et les réciproques.

Tableau I. Caractéristiques des six lignées de maïs (*Zea mays* L.) utilisées dans l'étude de la transpiration en condition de sécheresse.

Lignées	Origine	Texture grain	Couleur grain	Précocité (jours)	Transpiration $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$
1. TZi 9	Sids 7734 x TZSR	d/c	Blanc	105	8,8
2. TZi 17	Rpp SR (TZ)	c/d	Blanc	105	9,3
3. TZi 25	B 73 x Rpp SR	d	Jaune	105	6,9
4. TZi 28	F 44 x Rpp SR	d/c	Jaune	105	9,5
5. Ant C ₅	Ant. Comp 2	d	Pourpre	90	7,6
6. SC ₄₃	SC 46 x Pion 3009	c/d	Jaune	120	8,3

c = Corné

d = Denté.

Méthodes

L'essai est conduit à Bagauda (Nigéria) en zone de savane soudanienne pendant deux années. Le site de Bagauda où l'essai a été conduit a un type de sol de très faible perméabilité ; le calcium et le potassium sont présents en très faible quantité.

La pluviométrie depuis plusieurs décennies tourne autour de 650 mm/an ; l'évaporation journalière est très élevée et atteint 12,5 mm/jour ; l'apparition de poche de sécheresse de plus de deux semaines est fréquente.

Une étude gravimétrique pour connaître l'humidité pondérale du sol a eu lieu 81 jours après le semis afin de situer l'intensité du stress hydrique appliqué aux plantes ; ainsi donc, le sol est resté sec au moment de l'étude avec un pourcentage d'humidité de 3,9 pour une profondeur de 0 - 15 cm et 4,1 % pour une profondeur de 15 - 45 cm.

Le dispositif expérimental est le bloc de Fischer, complètement randomisé, avec 3 répétitions. Les écartements sont de 0,75 mètre entre les lignes et de 0,25 mètre entre les poquets. Chaque ligne compte 21 plantes et nous avons utilisé 8 lignes par entrée et par répétition. L'essai reçoit chaque année l'équivalent de 400 kg ha⁻¹ de N₁₅ P₁₅ K₁₅ au moment du labour et 200 kg ha⁻¹ de calcium, ammonium, nitrate (CAN) comme engrais de couverture au moment de la floraison femelle.

Le contrôle des mauvaises herbes est manuel. Les mesures physiologiques sur la transpiration, (µg. Cm⁻². S⁻¹) la résistance stomatique (S. Cm⁻¹) sont effectuées sur la feuille de l'épi le plus haut placé de 5 plantes par entrée en pleine compétition à l'aide d'un poromètre Licor Li 1600 steady state déjà décrit (LAFFRAY et LOUGET, 1988).

Les mesures sont faites au moment de la floraison des plantes. Les mesures de la transpiration ont débuté au moment de la floraison. Cette période choisie correspond à une phase très importante chez le maïs ; elle est définie par OUATTAR *et al.* (1987) comme étant la période où 90 % de toutes les activités physiologiques, morphologiques et anatomiques se passent.

Les différentes mesures sur la feuille de l'épi de maïs à l'aide du poromètre sont menées entre 11 et 15 heures correspondant aux périodes les plus chaudes de la journée. On enregistre pendant ces heures un taux élevé de transpiration (HOFMANN, 1984 ; BLUM, 1974) à cause d'une bonne ouverture stomatique. Le rendement en grain en tonne ha⁻¹ est calculé à 14 % d'humidité à partir du poids sec récolté sur la ligne.

Une matrice de corrélation est calculée d'une part entre la transpiration et les paramètres physiologiques : résistance stomatique face supérieure (RSU), face inférieure (RSI), totale (RTOT), la température (Temp.), et d'autre part entre la transpiration et une composante importante du rendement, le poids de 100 grains (P100) qui extériorise bien les effets de la sécheresse et a une héritabilité élevée.

Analyse statistique

Les méthodes d'analyse statistique des résultats sont celles décrites par GRIFFING (1956) pour les aptitudes générale (AGC) et spécifique (ASC) à la combinaison et dont le modèle mathématique se définit comme suit :

$$X_{ij} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + \frac{1}{bc} \sum \sum e_{ijkl}$$

μ = moyenne de la population ;

g_i g_j = effet AGC ;

S_{ij} = effet ASC ;

e_{ijkl} = effet particulier.

HAYMAN (1954) présente une des techniques d'analyse diallèle suivant que les lignées et croisements réciproques sont pris ou non en compte. Cependant, six conditions restrictives font que l'application de cette méthode reste délicate. Ces conditions sont :

- une absence d'effet maternel ;
- un comportement diploïde ;
- une indépendance des gènes ;
- un biallélisme ;
- une homozygotie des parents ;
- une distribution indépendante des gènes chez les parents.

Résultats

L'analyse de variance (tableau II) donne des différences significatives ($P = 0,05$) entre les croisements F_1 et très hautement significatives ($P = 0,01$) pour les aptitudes générale (AGC) et spécifique (ASC) à la combinaison. La valeur de l'AGC (2,91) est supérieure et double celle de l'ASC (1,47). Les valeurs des effets additifs (a) avec 8,73 sont supérieures à celles des effets dominants (b) qui ont 4,41.

Tableau II. Analyse de variance et séparation des effets génétiques du paramètre de la transpiration en condition de sécheresse.

Sources de variation	Variance	
	ddl	Transpiration
Blocs	2	0,20 ^{ns}
Hybrides F_1	35	3,14**
AGC	5	2,91**
ASC	15	1,47**
Réciproques	15	0,00 ^{ns}
a	5	8,73**
b	15	4,41**
b1	1	10,87**
b2	5	5,16**
b3	9	3,27*
c	5	0,01 ^{ns}
d	10	0,01 ^{ns}
Erreur	70	-
AGC/ASC	70	1,98

ddl	=	dégré de liberté
*, **	=	Significatif à 5% et à 1% respectivement
ns	=	non significatif
AGC	=	Aptitude Générale à la Combinaison
ASC	=	Aptitude Spécifique à la Combinaison
a	=	test des effets additifs
b	=	test des effets dominants
b1	=	déviations moyennes de F_1 à la moyenne parentale
b2	=	déviations moyennes de F_1 / valeurs moyennes de chaque parent
b3	=	déviations dues à la dominance propre de chaque parent
c	=	test des effets maternels
d	=	test des effets réciproques.

Les quantités b1 (déviations moyennes de F_1 par rapport à la moyenne parentale) et b2 (déviations moyennes des F_1 par rapport aux valeurs moyennes de chaque parent) sont hautement significatives : b3 (déviations dues à la dominance propre de chaque F_1) est seulement significative à 5 %. Les autres valeurs c (effets maternels) et d (effets réciproques) ne sont pas significatives (tableau III).

Tableau III. Transpiration moyenne ($\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) des 15 hybrides F_1 issus de six lignées de maïs en condition de sécheresse.

Lignées	TZi 9	TZi 17	TZi 25	TZi 28	Ant C ₅	SC ₄₃	Moyenne pondérée
TZi 9	-	11,79	10,10	12,52	9,80	11,00	11,24
TZi 17		-	10,56	11,14	10,80	10,95	11,05
TZi 25			-	12,82	9,93	10,40	10,96
TZi 28				-	9,87	10,70	11,41
Ant C ₅					-	10,41	10,16
SC ₄₃						-	10,69

Les croisements spécifiques à forte valeur de transpiration sont TZi 28 x TZi 25, TZi 9 x TZi 28, TZi 9 x TZi 17 avec des chiffres respectifs de 12,82, 12,52 et 11,79 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$.

Les croisements avec une faible transpiration sont : TZi 9 x Ant C₅, TZi 25 x Ant C₅, TZi 28 x Ant C₅, Ant C₅ x SC₄₃, TZi 25 x SC₄₃ avec des valeurs comprises entre 9,80 et 10,41 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$. Les meilleures lignées qui transpirent fortement sont TZi 28 (11,41 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) suivie par TZi 9 (11,24 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) et TZi 17 (11,05 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$). Celles qui transpirent peu sont Ant C₅ (10,16 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$), SC₄₃ (10,69 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) et TZi 25 (10,96 $\mu\text{g. Cm}^{-2}. \text{S}^{-1}$) (tableau III).

La différence entre les effets AGC des six lignées est hautement significative. La plus forte valeur négative (-1,97**) de AGC se retrouve avec TZi 28 alors que Ant C₅ a une valeur positive (0,57**).

Les effets spécifiques (ASC) varient entre les croisements F_1 et vont de - 0,11 (TZi 25 Ant C₅) à 1,86** (TZi 25 x TZi 28) (tableau IV).

Tableau IV. Valeurs de l'AGC (gi) et de l'ASC (si) du phénomène de la transpiration de 15 hybrides F_1 en condition de sécheresse.

Lignées	TZi 28	TZi 9	TZi 17	Ant C ₅	TZi 25	SC ₄₃	AGC
TZi 28	-						-1,97**
TZi 9	0,89**	-					- 0,13 ^{ns}
TZi 17	- 0,32**	0,06 ^{ns}	-				0,24*
Ant C ₅	- 0,56**	- 0,91**	- 0,25*	-			0,57**
TZi 25	1,86**	- 0,14 ^{ns}	- 0,51**	- 0,11 ^{ns}	-		- 1,35**
SC ₄₃	0,11 ^{ns}	0,24	0,28**	0,76**	0,24**	-	- 1,63**

*, * significatif à 1 % et à 5 % respectivement

gi = 0,011
 si = 0,060
 Sij - Sik = 0,129
 Sij - Skl = 0,103.

Les estimations des composantes génétiques et leurs écart-types sont représentés dans le tableau V.

Les effets liés à l'additivité (D) sont significatifs ; les effets non additifs (H_1), (H_2) sont hautement significatifs. Les valeurs H_1 sont supérieures à celles de H_2 . La valeur de F est positive et significative avec $2,78 \pm 0,49$. Le ratio KD/KR est 2,27 alors que h^2/H_2 est 2,57.

Le rapport de dominance $(H_1/D)^{0,5}$ est supérieur à l'unité. Le rapport $1/2 F\sqrt{D}$ ($H_1 - H_2$) avec une valeur de 0,74 indique l'amplitude du degré de dominance d'un locus à l'autre. L'héritabilité calculée donne une valeur de 0,52.

Tableau V. Estimations des composantes génétiques et leur écart-type pour le paramètre de la transpiration en condition de sécheresse.

Composantes génétiques	Transpiration
D	$2,78 \pm 0,20^{**}$
H_1	$4,66 \pm 0,51^{**}$
H_2	$3,38 \pm 0,46^*$
h^2	$1,93 \pm 0,31^*$
F	$2,78 \pm 0,49^*$
E	$0,15 \pm 0,08^*$
$(H_1/D)^{0,5}$	1,30
d'	1,71
KD/KR	2,27
h^2/H_2	2,57
$H_2/4H_1$	0,18
$1/2 F\sqrt{D}(H_1 - H_2)$	0,74
$H_1 - H_2$	$1,29 \pm 0,69$
Héritabilité	0,52

*,** significatif à 5 % et à 1 % respectivement

D = composante due aux effets additifs
 H_1 = composante due aux effets non additifs
 H_2 = composante due aux effets non additifs pondérée
 h^2 = effet de dominance
F = covariance entre effets additifs et non additifs
E = composante due à l'environnement

$(H_1/D)^{0,5}$ = degré de dominance

KD/KR = ratio gènes dominants sur gènes récessifs

h^2/H_2 nombre de facteurs contrôlant un caractère

$1/2 F\sqrt{D}(H_1 - H_2)$ = niveau de dominance d'un locus par rapport à un autre

$H_1 - H_2$ = asymétrie dans la distribution des allèles.

Les coefficients de corrélation calculés sont hautement significatifs entre le phénomène de la transpiration et les autres paramètres physiologiques liés (tableau VI).

Tableau VI. Coefficients de corrélation phénotypique entre la transpiration et les autres paramètres physiologiques (ddl = 163).

	Trans	RSU	RSI	RTOT	Temp
Trans	-				
RSU	- 0,72**	-			
RSI	- 0,61**	0,61**	-		
RTOT	- 0,73**	0,86**	- 0,61**	-	
Temp	- 0,34**	0,40**	- 0,38**	0,43**	-

**, Hautement significatif à 1 %

avec Trans = Transpiration, RSI = Résistance stomatique face inférieure

RSU = Résistance stomatique face supérieure, RTOT = Résistance stomatique totale

Temp = Température.

Enfin dans le tableau VII, nous observons que les hybrides transpirant plus sont ceux qui donnent les meilleurs poids de 100 grains (P100). Ainsi TZi 9 x TZi 28 ($12,52 \mu\text{g} \cdot \text{Cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$) avec une valeur de 23,4 g donne un P100 supérieur à celui de TZi 9 x Ant C₅ ($9,80 \mu\text{g} \cdot \text{Cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$) qui a un P100 donnant seulement 17,0 g. Il en est de même pour TZi 17 x TZi 9 ($11,79 \mu\text{g} \cdot \text{Cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$) qui a un P100 (23,4 g) supérieur à celui de Ant C₅ x TZi 25 dont la transpiration est de $9,93 \mu\text{g} \cdot \text{Cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ avec un P100 de 17,1 g.

Tableau VII. Poids de 100 grains en gramme (g) des 15 croisements F₁ testés pendant deux ans en condition de sécheresse.

Lignée	TZi 9	TZi 17	TZi 25	TZi 28	Ant C ₅	SC ₄₃
1. TZi 9	-					
2. TZi 17	23,4	-				
3. TZi 25	22,5	20,4	-			
4. TZi 28	23,4	20,8	19,6	-		
5. Ant C ₅	17,0	18,8	17,1	18,2	-	
6. SC ₄₃	18,7	19,7	19,5	19,0	21,5	-

Humidité pondérale du sol de profondeur 0 - 45 cm = 4,1 %.

Discussion

Une variabilité génétique existe pour le phénomène de transpiration. Les différents types de croisements F_1 les plus intéressants font intervenir les parents TZi 9, TZi 17, TZi 28 et concernent TZi 25 x TZi 28, TZi 9 x TZi 28, TZi 9 x TZi 17. Les hybrides avec les parents Ant C₅, SC₄₃, TZi 25 transpirent beaucoup moins (HÉMA, 1994) et concernent les hybrides TZi 9 x Ant C₅, TZi 25 x Ant C₅, TZi 28 x Ant C₅, Ant C₅ x SC₄₃, TZi 25 x SC₄₃.

La réduction de la perte d'eau se fait par le canal des stomates comme le montre la forte corrélation entre la transpiration et la résistance stomatique totale. La forte capacité d'une plante à rester métaboliquement active dans des conditions de sécheresse extrême existe chez certains croisements. Les hybrides F_1 arrivent à réguler l'ouverture de leurs stomates et contrôler tous les échanges gazeux avec l'extérieur par des ajustements internes ; ainsi ils arrivent à contrôler indépendamment la transpiration à cause des modifications morphologiques des feuilles. La transpiration cuticulaire reste faible à cause de la résistance stomatique totale. La transpiration est inversement proportionnelle à la résistance stomatique. Une augmentation des valeurs de la résistance stomatique entraîne une diminution du phénomène de transpiration et inversement (HÉMA, 1994). Les meilleurs croisements F_1 qui présentent une forte transpiration quelque soit les conditions défavorables sont plus adaptés aux mauvaises conditions hydriques que les autres F_1 qui supportent mal les mauvaises conditions hydriques dès le départ.

Le phénomène de transpiration dans notre étude est contrôlé par les effets dominants dans le cas de l'analyse de GRIFFING (1956). Selon l'analyse de HAYMAN (1954), les estimations des composantes génétiques ont montré que l'environnement a une influence sur la transpiration. Le rapport KD/KR montre qu'il y a plus de gènes dominants que récessifs dans le contrôle de la transpiration.

Un parent qui transpire beaucoup, s'il est croisé avec un parent transpirant peu, donne dans la descendance un hybride proche du meilleur parent (TZi 9). C'est ce que nous constatons avec l'hybride TZi 9 x SC₄₃. L'héritabilité calculée est élevée ; il est possible de faire des progrès dans un programme d'amélioration pour la tolérance à la sécheresse en prenant en compte la transpiration comme paramètre principal. Le choix des parents avant toute hybridation est très important et conditionne le succès. Les meilleurs rendements grains se retrouvent toujours avec les génotypes qui transpirent quel que soit les très faibles valeurs de potentiel hydrique du sol ; ces matériels sont plus adaptés aux zones défavorisées sur le plan pluviométrique ce qui confirme la conclusion de MISRA *et al.* (1990).

Dans la pratique les valeurs obtenues du phénomène de la transpiration ne sont possibles qu'avec un poromètre ; cependant son utilisation est pénible et surtout ne permet pas le criblage d'un grand nombre de matériels génétiques à la fois.

L'idéal est de rendre le travail simple, facile et rapide. La voie future qui peut répondre à notre préoccupation est la relation entre la transpiration et le degré de fanaison ou degré d'enroulement des feuilles comme réponse de la plante à un stress hydrique ; d'autres marqueurs génétiques plus simples, peuvent intervenir pour faciliter le travail d'approche physiologique.

Conclusion

La variabilité génétique du caractère de la transpiration est exploitable dans un programme d'amélioration. Cette variabilité est plus ou moins prononcée avec le stress hydrique.

Au terme de notre étude nous avons constaté que deux lignées qui transpirent bien donnent en F_1 des hybrides qui transpirent bien alors que deux lignées transpirant faiblement donnent des hybrides

avec une faible transpiration. Cependant, une lignée qui transpire bien, croisée avec une lignée transpirant faiblement donne un hybride avec une transpiration moyenne.

Nous observons que la transpiration est contrôlée par des gènes à effet additif et dominant. La transpiration est héritable ; son utilisation est possible des parents vers les descendances permettant l'amélioration de la productivité céréalière en zone sèche. Cependant, l'utilisation de la transpiration comme critère d'amélioration lié à la sécheresse est limitée car son application est pénible et ne permet pas le criblage d'un grand nombre de génotypes. □

Remerciements

A l'IITA pour le financement de ce travail de thèse de doctorat et au Dr. J.D. ZONGO pour les suggestions et corrections du manuscrit.

Références bibliographiques

BLUM A., 1974. Genotypic responses in sorghum to drought stress. I. Responses to soil moisture stress. *Crop Sci* 14 : 361-364.

DUTUIT P., POURRAT Y., 1994. La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sécheresse* 5 (1) : 23-31.

GRIFFING B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust J. Biol. Sci* 9 : 463-493.

HAYMAN B. I., 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics Princeton* 39 : 789-806.

HEMA D., 1994. Etude de la résistance à la sécheresse chez le maïs (*Zea mays L.*) Analyse de la variabilité génétique de quelques caractères agro-physiologiques. Thèse de Doc; Ing. UNCI Abidjan - 147 p.

HOFMANN W.C., O'NEILL M. K., DOBRENZ A. K., 1984. Physiological responses to sorghum hybrids and parental lines under soil moisture stress. *Agro Jour.* 76 (2) : 223-228.

HSIAO T.C., 1973. Plant responses to water Stress. *Ann Rev plant physio* 24 : 519-570.

KIM S. K., EFRON Y., KHADR F., FAJEMISIN J., LEE M.H., 1987. Registration of 16 maize streak virus resistant tropical maize parental inbred lines. *Crop Sci.* 27 (4) : 824-825.

LAFFRAY D., LOUGUET P., 1988. Les techniques pométriques. In Amélioration de la productivité Agricole en milieu aride 0 : 21-42.

MISRA R. D., GRANGWAR K.S., 1990. Screening of wheat (*triticum aestivum*) germplasm for drought resistance. *Indian J. Agri. Sci.* 60 (1) : 63 - 65.

OUATTAR S., JONES R. J., CROOKSTON R. K., 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Sci.* 27(4): 726-730.

SINGH K. P., KUMAR V., 1981. Water use and water use efficiency of wheat and barley in relation to seedling dates, levels of irrigation and nitrogen fertilization. *Agricultural water management* 3 : 305-36.