

CR000726



SEMINAIRE INTERNATIONAL

GESTION AGROCLIMATIQUE DES PRECIPITATIONS

Une voie de réduction du "gap technologique"
de l'agriculture tropicale africaine

Bamako 9-13 décembre 1991

**Premiers acquis du CERAAS sur la génétique de
l'adaptation à la sécheresse de quelques espèces cultivées**

J.L. KHALFAOUI

ISRA/CIRAD. Sénégal.

International Seminar

AGROCLIMATIC MANAGEMENT OF RAINFALL

A Pathway for Reducing the Technological GAP
in Tropical Africa

Bamako 9-13 december 1991

KHAL
GENE3
200

SJC

CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CIERAAS

ISRA - CNRA

PREMIERS ACQUIS DU C.E.R.A.A.S. SUR
LA GENETIQUE ET LA SELECTION DE
L'ADAPTATION A LA SECHERESSE DES
ESPECES CULTIVEES :

---oO---

CAS DE L'ETUDE DES PARAMETRES DU
SYSTEME RACINAIRE.

J. - L. B. KHALFAOUI

I.- INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, la sécheresse constitue le principal facteur limitant la production agricole de vastes zones des tropiques tel que le Sahel ou le Nord-Est brésilien. Au total, 220 millions **d'hectares** de terres cultivables sont touchées (à partir de données FAO, 1986).

Face à ce problème, **l'amélioration** génétique constitue une voie de lutte efficace dont les atouts sont encore **mal** utilisés, en particulier les progrès de la physiologie dans la compréhension des **mécanismes** adaptatifs et une importante variabilité **génétique** inter et intra-espèce inexploitée (KHALFAOUI, 1985).

Actuellement, les limitations à l'utilisation en sélection des progrès de la physiologie se situent à quatre niveaux (KHALFAOUI, 1990, 1991a):

- Les lacunes dans la caractérisation de la **variabilité** génétique des **mécanismes** physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez la plupart des espèces.

- Le manque de connaissances sur l'hérédité des caractères adaptatifs

- Le peu d'information sur la nature des corrélations entre les caractères adaptatifs et la productivité en conditions de sécheresse.

- Le faible nombre de méthodes de criblage mis au point pour sélectionner les caractères physiologiques.

Depuis sa création en 1989, les premiers travaux de génétique menés au **C.E.R.A.A.S.**(¹) ont essentiellement visé à compléter le premier point, c'est-à-dire à caractériser la variabilité génétique des caractères adaptatifs chez les variétés utilisées dans différents programmes de sélection africains.

L'ensemble des recherches conduites sur ce thème ne pouvant être présenté, les premiers résultats obtenus sur la variabilité génétique des paramètres du développement racinaire, qui ont été particulièrement **prospectés**, feront **l'objet** de cette communication. Elle permettra dans le même temps d'illustrer certains des travaux réalisés pour mettre au point des méthodes de criblage adaptées à la sélection,

(1) Les travaux présentés sont financés par le **programme CCE-STD2.**

II. MATERIELS ET METHODES.

Jusqu'à présent au C.E.R.A.A.S., les deux principales méthodes de suivi des paramètres du développement racinaire sont basées sur l'utilisation de rhizotrons et d'une technique d'injection d'herbicide dans le sol. Elles permettent la mise en place de dispositifs statistiques d'étude des effets génotypes et des effets **d'interaction génotypes X régime hydriques** et **génotypes X conditions de sol**,

D'autres techniques sont en cours de développement tel que les cultures en hydroponie et en aéroponie.

1. Etudes en rhizotrons

Les rhizotrons sont des tubes de PVC de 100 cm de haut et 15 cm de diamètre comportant une surface plane transparente en **pléxiglace** (ANNEROSE, 1990). Ils sont installés en position **incliné** selon un angle de 30° par rapport à la verticale. Par **géotropisme**, les racines suivent la surface transparente ce qui permet de les observer et d'effectuer un suivi **régulier** de l'évolution de leur croissance. Les tubes sont remplis d'un sol tamisé, afin d'assurer une bonne **homogénéité** à l'ensemble du profil, correspondant à un sol de culture de **l'espèce** étudiée. L'alimentation hydrique est **contrôlée** ce qui permet d'appliquer des régimes hydriques secs ou humides,

Plusieurs études ont été menées en **rhizotrons** sur des variétés de maïs (HEMA, 1991 ; TOGOLA, à paraître), de mil (BATCHO et al., 1990), de sorgho (TROUCHE et al., à paraître), d'arachide et de niébé (NWALOZIE, 1990).

2. Etude in situ par injection d'herbicide dans le sol

Un herbicide (**Métribuzine**) est appliqué en pré-semis dans le sol à une profondeur de 50 et 60 cm grâce à des buses de pulvérisation montées à l'arrière et à la base d'une dent de sous-soleuse. L'application est faite par un passage au niveau des entre-lignes (ROBERTSON et al., 1985). La vitesse d'enracinement est évaluée par la rapidité d'apparition après le semis des symptômes foliaires dus à l'herbicide, qui correspond à la rapidité avec laquelle les racines atteignent la zone traitée.

Cette technique a été utilisée pour comparer des variétés de niébé et d'arachide dans deux types de sol (CISSE et al., à paraître ; KHALFAOUI et al., 1992). Elle a également été adaptée au cas du maïs (HAVARD et al., à paraître).

III. RESULTATS ET DISCUSSION.

1. Effets espèces

Une étude bibliographique montre que le nombre des études comparatives de variétés d'espèces différentes est limité. Or, elles sont riches d'enseignements pour comprendre les avantages adaptatifs de certaines espèces et pour préciser les progrès à obtenir chez les espèces dont les comportements doivent être améliorés,

En effet, une comparaison des espèces indique l'existence d'une variabilité génétique inter-espèce. C'est ainsi qu'un essai en rhizotrons a été mené en conditions hydriques non-limitantes et stressées, associant quatre variétés de mil et de sorgho. Dans le cadre de la **variabilité étudiée**, le mil présente (tableau 1) un meilleur comportement vis-à-vis des différents paramètres racinaires.

Une comparaison de variétés de niébé et d'arachide in situ par injection d'herbicide montre (tableau 2) que les deux espèces ont en moyenne des vitesses d'enracinement très voisines bien que la meilleure variété de niébé (**Bambey 21**) soit nettement supérieure à celles d'arachide (73-33 ou 57-422 suivant le sol).

2. Effets variétés

Les espèces étudiées présentent une **variabilité génétique intra-espèce** importante pour de nombreux paramètres racinaires, de longueur, de vitesse, de densité, . . . Le tableau 3 montre en exemple des résultats obtenus en rhizotrons pour la longueur maximale racinaire à deux dates chez des variétés de mil (BATCHO et al., 1990), de sorgho (TROUCHE et al., à paraître) et de maïs (DRISSA, à paraître),

L'étude des résultats obtenus pour les différents paramètres permet le choix des meilleures variétés et dans certains cas l'identification de types variétaux qui facilite ce choix. C'est notamment le cas des variétés de sorgho présentées au Tableau 3, TROUCHE et al. (à paraître) montre que l'étude des profils racinaires permet de distinguer trois groupes (Figure n°1): les variétés à fort enracinement sur l'ensemble du profil, celle à enracinement moyen et celles à enracinement faibles en particulier en profondeur. Le premier groupe correspond aux variétés de la race botanique Durra et les deux autres réunissent les variétés des races botaniques Caudatum et Guinda. Chez une espèce, lorsqu'un tel rapprochement entre un comportement adaptatif et l'appartenance à une race botanique est mis en évidence, le choix des variétés et des **géniteurs** est simplifié.

Dans le cas où une variabilité génétique se manifeste, ces études permettent, nous l'avons vu, un choix de génotypes et de **géniteurs**. Elles permettent également la mise en place d'une sélection créatrice basée sur ces paramètres. Ce travail peut être illustré par le programme mené chez l'arachide où une sélection récurrente sur test Si a débute sur une population de base créée à partir d'un brassage **génétique** entre huit variétés (KHALFAOUI, 1991). Le tableau 4 présente les résultats non publiés obtenus pour les caractères d'enracinement de la Première série de 12 familles F_2 , lors du deuxième cycle de sélection récurrente. Elles sont testées par rapport à deux témoins d'adaptation et de sensibilité à la sécheresse. Les différences sont hautement ($P > 0,01$) et très hautement significatives ($P > 0,0001$) pour les différents paramètres. Afin de permettre le choix des meilleures familles, les résultats des paramètres racinaires sont regroupés dans un index de sélection qui fourni une note intégrant également le comportement des familles aux autres **caractères** adaptatifs que sont l'optimisation de la transpiration et la résistance protoplasmique. Les génotypes présentent des différences hautement significatives ($P > 0,01$) pour cet "index qui autorisent un choix de familles.

Dans certain cas, les études, de variabilité génétique permettent de diagnostiquer un manque de variabilité génétique dans le matériel pressenti et ainsi de le corriger par des apports orientés avant le début d'un programme de sélection. TOGOLA (à paraître) montre ainsi chez quatre écotypes de maïs un manque de variabilité génétique pour différents **paramètres** racinaires (tableau n° 5).

3 - Effets d'interactions variétés x alimentation hydriques et variétés x types de sol.

Les études racinaires montrent des cas d'interactions entre les variétés et les régimes hydriques. BATCHO et al. (1990) obtient pour les variétés de mil **présentées** au tableau 3, de nombreux cas d'interactions génotypes X régimes hydriques significatives, par exemple au **33^e jour** pour la longueur maximale racinaire ($P > 0,001$) et les densités racinaires aux horizons intermédiaires entre 40 et 80 cm ($P > 0,001$). Selon le type de sécheresse subie, les variétés ne réagissent pas de la même façon. BATCHO et al. (1990) montre par exemple que certaines variétés (ICMVIS-85-327 et IBV 8004) ont un développement racinaire qui est **peu** influencé par le régime hydrique, alors que des conditions de sécheresse provoquent chez d'autres (Souna 3 et HKP) un développement racinaire en profondeur. De telles **interactions** entre les génotypes et les régimes hydriques impliquent de choisir les variétés et les génotypes et de conduire la sélection dans des conditions de sécheresse les plus proches possibles de celles pour lesquelles est destinée la variété à vulgariser.

En ce qui concerne l'influence du type de sol sur la croissance racinaire, l'étude comparative dans deux types de sol de variétés de niébé et d'arachide *in situ* par injection d'herbicide (tableau 2) a montré une absence d'effet sol sur les vitesses d'enracinement des deux espèces. Par contre, un effet d'interaction variétés X sols significatif ($P > 0,05$) a été mis en évidence chez l'arachide alors qu'il ne se manifeste pas pour le niébé. Entre les deux sols, la hiérarchie des variétés d'arachide n'est pas la même. Là encore, l'existence d'une interaction entre les variétés et les types de sol pour l'arachide implique chez cette espèce de conduire la sélection dans les conditions de sol les plus proches possibles de celles pour lesquelles est destinée la variété à vulgariser. Par contre, une sélection menée sur le niébé dans un sol pourra être efficace dans d'autres sols. Ceci est confirmé par une hiérarchie variétale comparable pour des variétés de niébés étudiées au C.E.R.A.A.S. avec celle obtenue avec la même technique d'injection dans un sol californien de Riverside, (HALL et al., 1985), notamment en ce qui concerne l'excellent comportement de la variété Bambey 21.

IV.- CONCLUSION

Les études génétiques menées au C.E.R.A.A.S. sur la croissance racinaire de certaines espèces cultivées ont permis de confirmer l'existence d'une variabilité inter et intra-espèce importante et de préciser sa nature. Ceci constitue une étape préalable à la mise en place de programmes maîtrisés de sélection de l'adaptation à la sécheresse.

En second lieu, ces études ont permis de mettre en évidence l'existence d'interactions entre les génotypes et les conditions édapho-climatiques qui ont été peu étudiées au niveau des caractères adaptatifs bien qu'elles conditionnent directement la conduite des programmes de sélection et leur efficacité,

En troisième lieu, ces études ont été l'occasion de mettre au point ou d'adapter aux espèces étudiées différentes techniques de criblage des paramètres racinaires.

A l'avenir, l'important travail réalisé sur la variabilité génétique de la croissance racinaire devra être approfondi chez les espèces étudiées et étendu aux autres espèces en fonction des besoins exprimés par les chercheurs, Un travail similaire devra être réalisé sur les autres caractères adaptatifs.

Enfin, il est clair que la mise en place de programmes de sélection performants implique que les autres thèmes génétiques, hérédités et corrélations génétiques, soient abordés par le C.E.R.A.A.S., demandant un investissement en recherches supérieur à celui qui a pu être réalisé durant ses trois premières années d'activité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEROSE, D.J., 1990. Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences Naturelles. Univ. Paris VII. 282p.

BATCHO, E., DAOUDA, O.S., DO, F., ANNEROSE, D.J., KHALFAOUI, J.-L., FOFANA, A., LAFFRAY, D. ET LOUGUET, P., 1990. Etude de la croissance racinaire de six cultivars de mil. Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride, 2, 51-65.

CISSE, N. ET KHALFAOUI, J.-L., à paraître. Etude de la variabilité génétique de la croissance racinaire de variétés de niébé et d'arachide étudiée dans deux types de sol. Doc. C.E.R.A.A.S./ISRA.

F.A.O., 1986. Production year book. Food and Agric. Org. of the United Nations, et., Rome, Italy.

HALL, A.F. et PATEL, P.N., 1985. breeding for resistance to drought and heat. In : Cowpea Research, Production and utilization, ed., S.R. Singh and K.O. Rachie. John Wiley and Sons Ltd., 137-151.

HAVARD, M., KHALFAOUI, J.-L. and GAY, J.-P., à paraître. Description d'une technique de traitement herbicide localisé en profondeur dans le sol pour l'étude de la croissance racinaire sur arachide, niébé et maïs. Doc. C.E.R.A.A.S./ISRA.

HEMA, D., 1991. Etude des caractères physiologiques de quelques génotypes de maïs. Doc. C.E.R.A.A.S./INERA.

KHALFAOUI, J.-L., 1985. Conduite de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse en fonction de ses mécanismes physiologiques. In Actes: "Résistance à la sécheresse en milieu intertropical" Septembre 1984, Dakar. Oléagineux. 40: 329-334.

KHALFAOUI, J.-L., 1990. Genetic of adaptation to **drought** of cultivated species and **consequences** on plant breeding. Bull: Soc. bot. Fr., 137, **Actual. bot.**, 1: 125-137.

KHALFAOUI, J.-L., 1991a. Génétique et sélection de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées. In Actes: "Physiologie, génétique et sélection pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées." Novembre 1990, Bambey, ISRA CNRA. .

KHALFAOUI, J.-L., 1991b. Approche de l'amélioration **génétique** de l'adaptation à la sécheresse. Cas de l'arachide au Sénégal, In Actes: IIe Journées Scientifiques du **Réseau Biotechnologies Végétales**: "L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides." Décembre 1990, Tunis, Ed. AUPELF-UREF, Actualité Scientifique, John Libbey **Eurotext**, Paris, 51-63.

KHALFAOUI, J.-L., et HAVARD, M., 1992. **Screening peanut cultivars** in the Field for root **growth**: a test by herbicide injection in the soil. Field Crop Research (sous-presse).

NWALOZIE, M., Adaptation **pf** cowpeas to **drought**: Physiological aspects. **Doc. C.E.R.A.A.S./IMO** State University, **Nigéria**.

ROBERTSON, B.M., HALL, A.E. et FOSTER, K.W., 1985. A field technique for **screening** for **genotypic differences** in root growth. **Crop Sci.**, 25: 1084-1090.

TOGOLA, D., à paraître. Rapport de mission. **Doc. C.E.R.A.A.S./IPR**.

TROUCHE, G., BRETAEU, A. et EVAIN, D., à paraître. Etude de la croissance racinaire de 12 génotypes de sorgho en rhizotron. In Actes : "Physiologie, **génotype** et sélection pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées." Novembre 1990. Bambey, ISRA CNRA.

Tableau 1 : Variabilité génétique de paramètres racinaires 44 jour après le semis chez 4 géotypes de mil et sorgho en conditions sèches (S) et non limitantes (NS).

Espèces	Géotypes	LMR ⁽¹⁾		Dens. 0-20 ⁽²⁾		Dens. 60-80 ⁽³⁾	
		S	NS	S	NS	S	NS
MIL	ICMVIS-85327	97,4	90,3	2,8	1,8	2,8	1,3
	IBV 8004	91,5	90,8	3,0	2,5	2,5	1,1
	<i>Moyennes</i>	<i>94,5</i>	<i>90,6</i>	<i>2,9</i>	<i>2,1</i>	<i>2,7</i>	<i>1,2</i>
SORGHO	612A x 75-17	88,5	57,7	3,3	1,3	1,8	0,3
	75-1	77,6	52,9	1,5	1,0	0,3	0,0
	<i>Moyennes</i>	<i>83,1</i>	<i>55,3</i>	<i>2,4</i>	<i>1,2</i>	<i>1,1</i>	<i>0,2</i>
<i>Effets:</i>							
<i>Géotypes</i>		<i>0,0001</i>		<i>0,01</i>		<i>0,0001</i>	
<i>Régimes hydriques</i>		<i>0,0001</i>		<i>0,001</i>		<i>0,001</i>	
<i>Géno X Rég</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>	
<i>CV (%)</i>		<i>18,7</i>		<i>49,4</i>		<i>87,3</i>	

(1) Longueur maximale racinaire en centimètres.

(2) Densité racinaire entre 0-20 cm par note visuelle de 0 à 5.

(3) Densité racinaire entre 60-80 cm par note visuelle de 0 à 5.

Tableau 2 : Variabilité génétique de la vitesse d'enracinement de génotypes de niébé et d'arachide évaluée par le pourcentage⁽¹⁾ de pieds atteints par l'herbicide au 32e jour après semis dans deux sols sableux (Dior) et argileux (Deck).

NIEBE	Sol Dior	Sol Deck	ARACHIDE	Sol Dior	Sol Deck
Bambey 21	66,8 a	75,0 a	73-33	46,2 a	51,2 abj
IC86-275 N	48,5 b	47,0 b	59-127	42,5 ab	41,8 abc
B 89-504	40,0 b	34,8 b	TS-32-1	37,0 bc	49,7 abc
58-57	39,3 b	47,7 b	57-422	35,5 bcd	59,5 a
Gorom-G	31,0 b	34,7 b	47-16	29,7 cd	39,5 bc
TVX 32-36	29,3 b	30,8 b	79-40	26,2 d	35,7 bc
TN 8863	28,0 b	23,0 b	55-437	26,1 d	31,5 c
			68-111	26,1 d	42,3 bc
<i>Moyennes</i>	40,4	41,9		37,1	43,9
		41,2			40,5
<i>Effet variétés</i>	0,0001			0,0001	
<i>Effet sols</i>	NS			NS	
<i>Effet variétés x sols</i>	NS			0,05	
<i>cv (%)</i>	24,6			17,3	

(1) Les données en pourcentages sont transformés par Arc Sin V $\%/100 \times 100$ avant analyse.

(2) Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes au Test **de** Newman Keuls à P > 0,05.

Tableau 3 : Var abilité génétique de la longueur maximale racinaire à 2 dates de génotypes de Mil, de Sorgho et de maïs en conditions hydriques non limitantes.

Espèces	Génotypes	LMR	
		13e - 14e jr	25e - 27e jr
MIL	ICNVIS-85327		64,2 a
	HKP		56,0 ab
	Souna 3		54,2 ab
	ICMVIS-86330		50,5 bc
	IBV 8004		45,3 bc
	Sauvage		40,8 c
Signification CV (%)	P >		0,0001
SORGHO	Mig Sar 86-20-10	45,0 a	85,2 a
	Fellah	36,7 b	76,8 ab
	Mig Sor 86-30-3	37,0 b	74,9 abc
	CMS 219	34,0 b	73,2 abc
	CE 145-66	36,6 b	70,7 bc
	CE 196-7-2-1	34,6 b	70,6 bc
	Mig Sor 86-25-11	35,9 b	69,7 bc
	CE 145-66	36,6 b	68,0 bc
	Tigne	34,2 b	61,8 bc
	CE 90	30,4 b	60,4 cd
	Ngor Gatna	32,6 b	59,9 cd
	ICSV 1063 BF	28,9 b	51,8 d
	Signification cv (%)	P >	0,0001 11,0
MAIS	9450	19,2 a	
	9499	18,2 ab	
	5057	14,7 ab	
	9848	11,7 bc	
	9030	7,7 c	
	Signification cv (%)	P >	0,0001 33,2

Tableau 4 : Variabilité génétique de différents paramètres racinaires chez 12 familles F2 d'une sélection récurrente sur arachide et 2 témoins.

Génotypes	LMR 14 ^e jr (cm)	LMR 28 ^e jr (cm)	Longueur moyenne racines secondaires (cm)	Densité ⁽¹⁾ racinaire	Index ⁽²⁾
57-422 ⁽³⁾	35,0 a	78,5 ab	1,8 ab	1,8 ab	7,6 ab
SR-7	33,6 a	82,1 ab	1,9 ab	2,1 ab	8,4 ab
SR-12	32,4 a	86,3 a	1,6 ab	1,6 ab	4,2 abc
SR-2	32,1 a	76,2 ab	1,8 ab	2,0 ab	6,6 ab,
SR-5	31,8 ab	79,6 ab	1,9 ab	1,5 ab	6,0 abc
SR-10	31,7 ab	79,8 ab	1,4 ab	1,4 ab	- 3,7 abc
SR-11	31,7 ab	74,4 ab	2,0 ab	2,0 ab	5,0 abc
SR-1	31,2 ab	80,1 ab	2,2 a	1,4 ab	- 0,4 abc
SR-3	30,1 ab	75,5 ab	1,3 ab	0,9 b	- 5,2 abs
SR-6	26,8 ab	68,5 abc	2,5 a	3,0 a	11,9 a
SR-9	24,3 ab	70,8 abc	2,1 ab	1,8 ab	- 1,3 abc
SR-4	24,0 ab	66,4 bc	1,4 ab	1,4 ab	- 9,2 abc
SR-8	20,1 bc	55,3 cd	0,7 b	0,5 b	-17,4 c
KH149A ⁽⁴⁾	14,1 c	42,3 d	1,8 ab	1,6 ab	-13,8 bc
<i>Signifi- cation</i>	0,0001	0,0001	0,01	0,01	0,01

(1) Note visuelle de 0 à 5

(2) Index de sélection intégrant les paramètres racinaires et ceux de transpiration et de résistance protoplasmique.

(3) Témoin d'adaptation à la sécheresse.

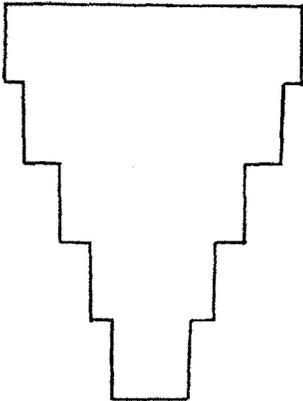
(4) Témoin de sensibilité à la sécheresse.

Tableau 5 : Variabilité génétique de paramètres racinaires chez quatre écotypes de maïs en conditions hydriques non limitantes

Génotypes	27 ^e jour			41 ^e jour		
	LMR	Dens. 0-20	Dens. 20-40	LMR	Dens. 0-20	Dens. 20-40
Ikenne	30,6	4,1	1,8	39,0	4,0	2,3
Safita 2	32,4	3,9	2,1	41,8	4,1	2,3
Tiementie	27,2	4,0	1,3	33,8	4,1	1,9
Kogoni B	27,0	4,1	1,3	36,7	4,1	2,1
Significa- tion CV (%)	N S 21,3	NS 15,3	NS 40,6	NS 25,2	NS 18,8	NS 51,2

Figure 1 : Représentation des masses sèches racinaire par horizon pour 3 géotypes- type de sorgho.

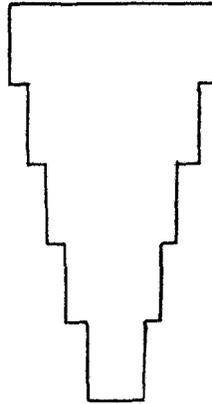
Type 1



Mig Sor 86-20-10

(*Durra*)

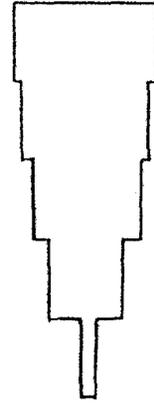
Type 2



CE 145-66

(*Caudatum*)

Type 3



Tigne

(*alinéa*)