

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DE LA QUALITÉ DU CACAO : ÉTUDE DE LA GRANULOMÉTRIE

C. CILAS*, C. DUCHEMIN**, R. LOTODÉ*

INTRODUCTION

La productivité fût longtemps le seul critère de sélection retenu dans l'amélioration génétique du cacaoyer. Depuis quelques années, la résistance aux maladies est étudiée (G. Blaha et R. Lotodé, 1977 ; E. C. Sitapai *et al.*, 1987 ; H. A. Laker *et al.*, 1987 ; C. Cilas *et al.*, 1988) et commence à être prise en compte dans l'amélioration génétique de cette plante.

En revanche, les critères de qualité du produit fini (cacao marchand) ne font pas encore l'objet d'une sélection systématique, bien que leur étude ait commencé depuis quelques années (R. Alvarado et E. T. Bullard, 1961 ; M. A. Beek *et al.*, 1977 ; J. Pardo et G. A. Enriquez, 1987).

L'objectif du présent travail, effectué au Togo,

est d'étudier la granulométrie, qui est un caractère essentiel pour la qualité du cacao, afin de voir dans quelle mesure il est possible de considérer ce facteur dans les programmes de sélection.

Le poids moyen de cent fèves est présenté pour quelques clones et hybrides, ainsi qu'une estimation de l'héritabilité de ce caractère. Les variations de la granulométrie au fur et à mesure des récoltes successives sont également suivies, ainsi que l'influence du remplissage en graines des cabosses sur le poids des fèves.

Il est à noter que l'origine du pollen n'a pas été contrôlée, le pollen n'ayant vraisemblablement que peu d'incidence sur la granulométrie (confère annexe, p. 7).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel végétal

Vingt clones des champs semenciers de Zozokondji (Kloto) et de Tomégbé (Litimé), dix clones de la collection IRCC de Tové (Kloto) et quatorze hybrides se trouvant en essais comparatifs à Tové et à Tomégbé (Togo) sont étudiés (tableaux I et II, p. 4).

Méthodes

Les cabosses mûres, récoltées sur les différents clones et hybrides, sont cassées et les fèves sont placées dans des sacs en tissu ajouré (type moustiquaire). Ces sacs sont ensuite mis dans des caisses de fermentation durant six jours au milieu d'autres fèves à fermenter. A l'issue d'un séchage d'une semaine environ, les fèves sont pesées par échantillon de cent fèves. Pour les clones Na 32, T 63/967, T 85/799 et UF 676, une distinction est

* IRCC-CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

** Stagiaire ISTOM, B.P. 1122, 76600 Le Havre (France).

TABLEAU I
Clones étudiés et leur provenance

Clone	Zozokondji	Tové	Tomégbé
Haut-Amazonien			
IMC 67		+	
Na 32	+		
Sca 6		+	
T 12/5		+	
T 60/887		+	
T 63/967	+		
T 63/971	+		
T 79/416	+		
T 79/501	+		
T 85/799	+		
T 86/45		+	
UPA 134		+	
UPA 402	+		
UPA 403	+		
UPA 409	+		
UPA 603	+		+
UPA 710	+		
Amelonado			
B 11 b 247	+		
P 4/9 : J 11/4/5	+		
S 84 : E 10/4/90	+		
SNK 64		+	
Trinitario			
ICS 6		+	
ICS 40	+	+	
ICS 100		+	
UF 667	+		+
UF 676	+		
IFC 412	+		
E 1 : C 43/270	+		
E 1 : C 43/291	+		
E 1 : J 92/70	+		

faite entre les fèves provenant de cabosses ayant moins de trente graines et celles provenant de cabosses ayant plus de trente graines ; deux lots

TABLEAU II
Hybrides étudiés et leur provenance

Hybride *	Parcelles	Parcelle	Parcelle
	T 5 et T 9 (Tové)	LP 2 (Tové)	L 4 (Tomégbé)
Pa 7 x Pound 7			+
Pa 7 x Pound 15			+
Pa 7 x IMC 60			+
T 63/967 x W 41			+
T 63/967 x E 1 : C 43/291	+		+
E 1 : C 43/291 x T 63/967	+		
UPA 710 x B 11 b 247		+	
UPA 402 x UF 676		+	
T 85/799 x S 84 : E 10/4/90		+	
Na 32 x T 85/799		+	
T 63/971 x P 4/9 : J 11/4/5			+
T 79/416 x E 1 : J 92/70			+
UPA 405 x IFC 412			+
UPA 603 x UF 667			+

* Parent femelle en premier

de fèves sont systématiquement préparés pour chacun de ces quatre clones.

Deux clones (UPA 603 et UF 667) ont pu être étudiés en deux lieux différents.

Ces expériences ont été réalisées sur les récoltes de novembre 1987.

Pour les cinq hybrides de la parcelle LP2, des échantillons sont préparés en novembre, décembre et janvier, afin de voir s'il y a une stabilité de la granulométrie en fonction des récoltes successives.

Le poids moyen de cent fèves de chaque hybride est estimé à partir de la moyenne des pesées de trente échantillons de cent fèves ; quant aux clones, le nombre d'échantillons est variable du fait du faible nombre de pieds par clone pour certains clones, impliquant des récoltes parfois réduites.

RÉSULTATS

Variabilité de la granulométrie chez les clones

Le poids moyen de cent fèves est présenté, pour les trente clones étudiés, dans le tableau III.

Il existe une grande variabilité pour le caractère « poids moyen de cent fèves » ; le meilleur clone (ICS 40) présente un poids moyen de cent fèves de plus de trois fois supérieur à celui du clone Sca 6. Les Trinitario ont globalement la plus forte granulométrie.

Pour les clones UPA 603 et UF 667, le poids

moyen de cent fèves est plus important pour les arbres se trouvant à Tomégbé que pour ceux se trouvant à Zozokondji. Cette différence est significative au risque de 1 % pour les deux clones :

t obs = 10,8 avec 27 ddl pour UPA 603
(15 échantillons pour Zozokondji,
14 pour Tomégbé),
t obs = 17,6 avec 19 ddl pour UF 667
(11 échantillons pour Zozokondji,
10 pour Tomégbé).

Les conditions édaphoclimatiques jouent donc un rôle non négligeable dans l'expression de ce caractère.

TABLEAU III

Poids moyen de cent fèves pour les différents clones étudiés

Clone	Nombre d'échantillons de 100 fèves	Poids moyen de 100 fèves (g)	Ecart-type
IMC 67	3	125,5	(1,2)
Na 32	15	111,6	5,4
Sca 6	4	67,5	(1,9)
T 12/5	2	145,2	(5,3)
T 60/887	3	115,1	(1,9)
T 63/967	15	144,2	3,0
T 63/971	15	114,6	1,6
T 79/416	15	90,0	1,8
T 79/501	10	92,7	2,3
T 85/799	15	113,4	2,2
T 86/45	2	142,0	(2,8)
UPA 134	1	152,0	-
UPA 402	15	89,9	2,5
UPA 405	15	104,4	1,7
UPA 409	13	106,4	2,3
UPA 603 (Zozokondji)	15	105,0	2,6
UPA 603 (Tomégbé)	14	117,3	3,7
UPA 710	13	146,2	5,3
B 11 b 247 (IFC 5)	15	116,2	3,2
P 4/9 : J 11/4/5	15	104,6	1,6
S 84 : E 10/4/90	15	117,5	2,9
SNK 64	2	112,2	(3,8)
ICS 6	3	173,6	(5,7)
ICS 40	3	208,8	(1,3)
ICS 100	4	152,8	(3,8)
UF 667 (Zozokondji)	11	198,0	1,3
UF 667 (Tomégbé)	10	212,6	2,5
UF 676	15	199,7	7,5
IFC 412	15	161,0	1,8
E 1 : C 43/270	15	124,5	2,0
E 1 : C 43/291	15	161,5	4,7
E 1 : J 92/70	15	134,0	2,7

cartes-types entre parenthèses ne sont qu'indicatifs, car calculés sur trop peu d'échantillons.

Influence du remplissage en graines des cabosses sur la granulométrie

Sur les clones Na 32, T 63/967, T 85/799 et T 86/45, les fèves issues des cabosses contenant de trente graines sont différenciées de celles des cabosses contenant plus de trente graines traitées à part.

Les résultats concernant ces échantillons sont présentés dans le tableau IV.

Le poids moyen de cent fèves est systématiquement plus important pour les fèves issues des cabosses moins bien remplies, mais cette différence n'est significative que pour deux clones sur

Evolution du poids moyen de cent fèves pour cinq hybrides

Des échantillons de cacao sont préparés pour cinq hybrides durant les mois de novembre, décembre et janvier. Le poids moyen de cent fèves de ces échantillons est présenté dans le tableau V.

Le poids moyen de cent fèves diminue nettement au fur et à mesure des récoltes. Les réserves énergétiques des plantes ne sont peut-être pas suffisantes pour assurer un bon développement des graines en fin de récolte. Notons toutefois que la saison sèche a débuté mi-octobre en 1987 ; les

TABLEAU IV

Poids moyen de cent fèves (en grammes) par clone et par catégorie de cabosses

Catégorie de cabosses	Clone			
	Na 32	T 63/967	T 85/799	UF 676
Fèves/cabosse	112,1	147,1	114,5	208,8
Graines/cabosse	111,0	141,7	112,9	195,2
	0,50	3,96**	1,07	5,04**

0,8 (5 %) = 2,05
0,8 (1 %) = 2,76

TABLEAU V

Evolution du poids moyen de cent fèves (en grammes) pour cinq hybrides (parcelle LP2)

Hybride	Mois		
	Novembre 1987	Décembre 1987	Janvier 1988
Pa 7 x Pound 7	126,7	111,6	95,5
Pa 7 x Pound 15	119,4	117,7	98,4
Pa 7 x IMC 60	121,6	107,5	98,1
T 63/967 x W 41	124,5	122,3	105,6
T 63/967xE 1:C 43/291	156,5	131,8	111,4

granulométries des récoltes de décembre 1987 et janvier 1988 peuvent avoir été affectées par cette sécheresse précoce.

Etude de l'héritabilité du caractère « poids moyen de cent fèves »

Le poids moyen de cent fèves est déterminé pour dix hybrides dont les parents ont été précédemment étudiés (tableau VI).

L'héritabilité au sens strict d'un caractère peut être estimée à partir de la régression entre enfant et la moyenne des deux parents ; cette estimation a d'ailleurs été jugée, comparativement aux autres méthodes, comme étant la plus correcte (D. S. Falconer, 1974). L'héritabilité (h^2) est estimée par la pente de la droite de régression.

Les résultats de la régression entre enfant et la moyenne des deux parents, réalisée à partir des données du tableau VI, sont présentés :

coefficient de corrélation : $r = 0,88$
(significatif à 1 %)
coefficient de détermination : $r^2 = 0,78$
droite de régression : $y = 0,66 x + 49,99$

TABLEAU VI

Poids moyen de cent fèves (en grammes) pour dix hybrides et moyenne de leurs parents

Clones parents (Zozokondji) (parent ♀ , parent ♂)	Moyenne des parents	Hybride
T 63/971, P 4/9 : J 11/4/5	109,6	110,2
T 79/416, E 1 : J 92/70	112,0	132,3
Na 32, T 85/799	112,5	131,9
T 85/799, S 84 : E 10/4/90	115,4	120,3
UPA 710, B 11 b 247	131,2	135,5
UPA 405, IFC 412	132,7	139,2
UPA 402, UF 676	144,8	142,2
UPA 603, UF 667	151,5	153,7
E 1 : C 43/291, T 63/967	152,8	145,9
T 63/967, E 1 : C 43/291	152,8	151,3

avec : y = poids moyen de cent fèves des hybrides
 x = moyenne des poids moyens des clones parents

écart-type de la pente : $\sigma = 0,12$

d'où $h^2 = 0,66 \pm 0,12$.

Rappelons que l'héritabilité est un paramètre qui varie entre 0 et 1 et que les valeurs supérieures à 0,5 représentent de fortes héritabilités (associées à des caractères qui se transmettent bien par voie génétique) (J.-M. Goux, 1975).

Le caractère « poids moyen de cent fèves » apparaît donc comme un caractère fortement héritable.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La granulométrie des fèves de cacao, estimée par le poids moyen de cent fèves, est un caractère qui présente une grande variabilité au sein de l'espèce *Theobroma cacao* L. Les Trinitario ont, en moyenne, une granulométrie plus élevée que celle des autres groupes de cacaoyers.

Pour une campagne de récolte, le poids moyen de cent fèves tend à diminuer au fur et à mesure des récoltes. Cette constatation, bien que devant être vérifiée sur plusieurs années, peut signifier que les réserves des plantes ne sont plus suffisantes, en fin de récolte, pour assurer un développement normal des graines. Le remplissage en graines des cabosses semble également avoir un effet sur la granulométrie (les cabosses moins bien remplies en graines ont, en moyenne, des fèves plus lourdes).

Le poids moyen de cent fèves, bien que dépendant en partie de l'environnement, présente une forte héritabilité (supérieure à 0,5), ce qui est fréquent pour les caractères morphologiques (J.-M. Goux, 1975). Par ailleurs, il avait été noté que la taille des fèves de cacao était un caractère héritable (D. R. Glendinning, 1963). Ces constatations impliquent qu'il serait relativement aisé de sélectionner des hybrides ayant une bonne granulométrie et que ce caractère devrait être pris en compte dans l'amélioration génétique du cacaoyer.

Des études similaires devraient être réalisées pour d'autres caractères de qualité (tels que la teneur en matière grasse des fèves) afin de voir dans quelle mesure il est possible d'améliorer la qualité du cacao marchand par voie génétique.

INFLUENCE DU POLLEN SUR LE POIDS MOYEN DES FÈVES
PROVENANT D'HYBRIDATIONS CONTRÔLÉES*

Etude des géniteurs mâles SNK 37, SNK 277, SNK 450 et SNK 456 sur cinq clones auto-incompatibles ICS

Poids moyen, exprimé en grammes, des fèves fraîches
obtenues pour chacun des vingt hybrides THK

Analyse de la variance

♀	SNK 37	SNK 277	SNK 450	SNK 456	Total	Moyenne
ICS 40	6,03	4,75	5,66	5,74	22,18	5,54
ICS 43	7,17	7,50	6,78	7,47	28,92	7,23
ICS 46	6,69	6,93	6,28	6,48	26,38	6,59
ICS 60	5,26	5,95	6,25	6,61	24,07	6,01
ICS 61	7,09	6,09	5,05	6,85	25,08	6,27
Total	32,24	31,22	30,02	33,15		
Nkoemvone	6,45	6,24	6,00	6,63		

Variation	Somme des carrés des écarts	Degré de liberté	Variance
entre ♂	1,008	3	0,362
entre ♀	6,391	4	1,597
de l'erreur	3,912	12	0,326

$$F_{\text{♂}} = \frac{3,62}{3,26} = 1,1 \text{ n'est pas significatif, car } < 3,49$$

$$F_{\text{♀}} = \frac{1,597}{0,326} = 4,89 \text{ est significatif, car } > 3,26$$

Il n'y a pas de différence significative entre les géniteurs mâles SNK, mais il y a une différence significative entre les géniteurs femelles ICS.

Tableau des poids, exprimés en grammes, des fèves fraîches des différents clones auto-incompatibles, suivant les clones pollinisateurs utilisés dans les hybridations, à la station de Nkoemvone (Cameroun)

♂	SNK 12	SNK 37	SNK 64	SNK 277	SNK 450	SNK 456	ICS 1	ICS 6	ICS 95	ICS 40	ICS 43	UPA 134	UPA 143	Moyenne
SNK 10	-	3,42	-	3,74	-	-	3,00	3,35	3,12	-	-	-	-	3,32
SNK 13	-	-	-	-	-	-	3,86	-	4,00	-	-	-	-	3,93
SNK 16	4,29	-	-	-	-	-	-	5,22	-	-	-	-	-	4,75
SNK 30	-	-	-	-	-	-	2,51	3,58	2,43	-	-	-	-	2,84
SNK 48	-	-	-	-	-	-	4,52	4,86	4,31	-	-	-	-	4,56
SNK 109	-	3,49	-	-	-	-	3,12	5,00	3,45	-	-	-	-	3,76
SNK 111	-	4,09	3,17	-	-	-	3,95	-	4,55	-	-	-	-	3,94
SNK 416	-	-	-	-	-	-	2,65	-	3,17	-	-	-	-	2,91
SNK 460	-	-	-	-	-	-	2,83	3,24	3,15	-	-	-	-	3,07
ICS 40	-	6,03	-	4,75	5,66	5,74	-	-	-	-	-	5,76	5,30	5,54
ICS 43	-	7,17	-	7,50	6,78	7,47	-	-	-	-	-	5,45	6,31	6,78
ICS 46	4,75	6,69	-	6,93	6,28	6,48	-	-	-	-	-	-	-	6,22
ICS 39	-	5,19	-	5,74	-	5,37	-	-	-	-	-	-	-	5,43
ICS 60	-	5,26	-	5,95	6,25	6,61	-	-	-	-	-	-	-	6,01
ICS 61	-	7,09	-	6,09	5,05	6,85	-	-	-	-	-	-	-	6,26
ICS 16	3,71	3,91	-	-	3,75	-	-	-	-	-	-	-	-	3,79
ICS 84	-	3,30	-	-	3,35	4,18	-	-	-	-	-	-	-	3,61
UPA 134	2,78	3,46	2,84	-	-	-	3,37	3,93	2,71	3,04	3,17	-	-	3,16
UPA 143	3,35	3,68	3,58	-	-	-	3,31	3,46	3,05	3,34	3,58	-	-	3,42

*Extrait du rapport annuel de la station du cacaoyer de Nkoemvone (Cameroun), 1963-1964.

- ALVARADO (R.), BULLARD (E. T.). — Variation of bean characteristics in hybrid cacao progenies. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Caribbean Region*, 5, 1961, p. 105-111.
- BEEK (M. A.), ESKES (A. B.), TOXOPEUS (H.). — Some factors affecting fat content in cacao beans (*Theobroma cacao* L.), with emphasis on the effect of the pollinator parent. *Turrialba* (San José), vol. 27, n° 4, oct.-déc. 1977, p. 327-332.
- BLAHA (G.), LOTODÉ (R.). — Contribution à la connaissance des modalités de la transmission héréditaire de la résistance du cacaoyer à la pourriture des cabosses (*Phytophthora palmivora*) au Cameroun. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXI, n° 3, juil.-sept. 1977, p. 179-196.
- CILAS (C.), DUFOUR (B.), DJIEKPOR (F. K.). — Etude de la résistance au swollen shoot du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) dans un diallele quasi-complet 8 × 8. *Café Cacao Thé* (Paris); vol. XXXII, n° 2, avril-juin 1988, p. 105-110.
- FALCONER (D. S.). — Introduction à la génétique quantitative. Masson (Paris), 1974, 284 p.
- GLENDINNING (D. R.). — The inheritance of bean size, pod size and number of beans per pod in cocoa (*Theobroma cacao* L.), with a note on bean shape. *Euphytica* (Wageningen), vol. 12, n° 3, nov. 1963, p. 311-322.
- GOUX (J.-M.). — Les applications de la génétique. Presses Universitaires de France (Paris), 1975, 128 p.
- LAKER (H. A.), SREENIVASAN (I. N.), RAJ KUMAR (D.). — The resistance of some cocoa clones to *Crimipellis pernicioso* in Trinidad. 10^e Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Saint-Domingue, République Dominicaine, 17-23 mai, 1987, p. 637-641.
- PARDO (J.), ENRIQUEZ (G. A.). — Herencia de algunos componentes de la calidad industrial en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.). 10^e Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Saint-Domingue, République Dominicaine, 17-23 mai, 1987, p. 695-699.
- SITAPAI (E. C.), KENNEDY (A. J.), RAJ KUMAR (D.). — Genetic aspects of resistance to *Phytophthora palmivora* disease. 10^e Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Saint-Domingue, République Dominicaine, 17-23 mai, 1987, p. 633-636.

CILAS (C.), DUCHEMIN (C.), LOTODÉ (R.). — **L'amélioration génétique de la qualité du cacao : étude de la granulométrie.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXIII, n° 1, janv.-mars 1989, p. 3-8, 6 tabl., 1 annexe, 10 réf.

Une étude génétique de la granulométrie des fèves de cacao est entreprise. Ce caractère est estimé par le poids moyen de cent graines après fermentation et séchage.

Il apparaît qu'il existe une grande variabilité pour ce caractère ; les Trinitario ont, en moyenne, une bonne granulométrie. Le poids moyen de cent fèves tend à diminuer au fur et à mesure des récoltes successives et semble dépendre, en partie, du remplissage en graines des cabosses. Ce caractère est cependant fortement héréditaire et peut donc faire l'objet d'une sélection.

CILAS (C.), DUCHEMIN (C.), LOTODÉ (R.). — **Genetische Qualitätsverbesserung von Kakao : Studium der Kornbeschaffenheit.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXIII, n° 1, janv.-mars 1989, p. 3-8, 6 tabl., 1 annexe, 10 réf.

Eine genetische Untersuchung der Kornbeschaffenheit der Kakaobohnen ist eingeleitet worden. Dieses Merkmal ist am Durchschnittsgewicht von einhundert fermentierten und getrockneten Körnern abgeschätzt.

Das genannte Merkmal zeichnet sich offenbar durch eine grosse Vielfalt aus ; die Trinitario besitzen im Schnitt eine gute Kornbeschaffenheit. Das Durchschnittsgewicht von einhundert Bohnen vermindert sich allmählich im Verlauf der aufeinanderfolgenden Ernten und scheint sich zum Teil nach dem Bohneninhalte der Schoten zu richten. Die Kornbeschaffenheit ist jedoch stark vererbbar und lässt sich daher züchterisch beeinflussen.

CILAS (C.), DUCHEMIN (C.), LOTODÉ (R.). — **Genetic improvement of cocoa quality : study of bean size.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXIII, n° 1, janv.-mars 1989, p. 3-8, 6 tabl., 1 annexe, 10 réf.

Cocoa bean size has been studied genetically. This character is assessed by the mean weight of one hundred dry fermented beans.

This character is found to be extremely variable ; the Trinitario cocoas have good bean size on average. The mean weight of one hundred beans tends to fall over the successive harvests and seems to depend partly on the pod filling rate. This character is however highly heritable and can therefore form the subject of selection work.

CILAS (C.), DUCHEMIN (C.), LOTODÉ (R.). — **Mejora genética de la calidad del cacao : estudio de la granulometría.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXIII, n° 1, janv.-mars 1989, p. 3-8, 6 tabl., 1 annexe, 10 réf.

Se ha realizado un estudio genético de la granulometría de los granos de cacao, estimándose dicho carácter por el peso medio de cien granos tras la fermentación y el secado.

Así, quedo demostrado que este carácter presenta una gran variabilidad. Los Trinitarios poseen, por término medio, una granulometría correcta. El peso medio de cien granos tiende a disminuir a medida que aumentan las cosechas sucesivas y parece depender, parcialmente, del contenido de granos dentro de las mazorcas. No obstante este carácter presenta una elevada probabilidad de transmisión hereditaria y, por consiguiente, puede ser objeto de una selección.