

**Le phénotypage du cacaoyer :  
comment estimer la granulométrie des fèves de cacao ?**

<sup>1</sup>F. DOARE, <sup>2</sup>F. RIBEYRE, <sup>2</sup>C. CILAS

<sup>1</sup>: CIRAD, UPR 106, Campus Agronomique de Kourou, BP 701, 97387, Kourou, Guyane, France

<sup>2</sup>: CIRAD, UPR 106, TA A-106 / D, Campus international de Baillarguet, F-34398 Montpellier, France

Résumé :

Le poids moyen des fèves de cacao est un caractère qui intéresse les industriels, mais ce caractère n'est généralement pas pris en compte dans les programmes de sélection. Des variétés ayant des fèves trop petites sont parfois éliminées des sélections ; et, plus qu'un poids élevé des fèves, les industriels recherchent surtout une homogénéité de la granulométrie afin de faciliter le traitement des fèves, comme la torréfaction. Plusieurs travaux ont déjà indiqué que le poids (ou la taille) des fèves était un caractère très héritable chez l'espèce *Theobroma cacao* avec une héritabilité généralement supérieure à 0.5. Toutefois, les valeurs obtenues dans différents pays pour un même clone sont souvent très variables. Dans cette étude nous analysons l'effet de différents facteurs sur le poids des fèves. En dehors de l'effet clone, deux facteurs principaux ont un impact sur le poids des fèves : i) le nombre de fèves des cabosses : un bon remplissage des cabosses en fèves a tendance à limiter le poids des fèves alors que les cabosses mal remplies ont tendances à avoir des fèves plus lourdes, ii) la position des fèves dans la cabosse a une influence sur leur poids : les fèves issues des zones médiane et proche du pédoncule ont des fèves significativement plus lourdes que les fèves issues de la zone distale. Ces résultats nous conduisent à proposer des protocoles pour normaliser l'estimation des valeurs phénotypiques du matériel génétique. Afin d'obtenir une estimation fiable la granulométrie il est proposé: soit utiliser des fèves issues de pollinisations manuelles pour saturer les cabosses en fèves, soit utiliser systématiquement le nombre de fèves des cabosses en covariable. En normalisant cette mesure de la granulométrie, il sera plus facile de comparer les résultats issus de différents laboratoires. Les fèves de la zone distale des cabosses, ayant des tailles plus petites, devraient être traitées à part afin d'avoir des lots plus homogènes pour les traitements post-récoltes.

Mots clés: Phénotypage, granulométrie, nombre de fèves par cabosse.

Abstract :

The average weight of cocoa beans is a trait of interest for cocoa importers and roasters, but this characteristic is not generally taken into account during breeding processes. Varieties with small beans are sometimes eliminated; and more than a high bean weight, manufacturers search primarily for bean size homogeneity in order to facilitate working with the beans, for example during roasting. Several studies indicate that the weight (or size) of the beans has a high heritability in *Theobroma cacao* (heritability generally greater than 0.5). However, the values obtained from different countries for the same clone often vary. In this study, we analyze the effect of different factors on the weight of the beans. Apart from the clone effect, two main factors have an impact on the bean weight: i) the number of beans per pod: a good filling of the pod with beans tends to limit the weight of the beans, whereas the low filled pods tend to heavier beans, ii) the position of the beans in the pod has an effect on the weight: beans in the middle and near the peduncle are significantly heavier than the beans in the distal part. These results lead us to propose protocols aimed at normalizing the phenotypic values of the genetic material. In order to obtain a reliable estimate of the bean weight, the following is proposed: i) either to use beans obtained from manual pollination to saturate the pods with beans, or to systematically use the number beans in the pods as a covariable. By standardizing this measurement of bean weight, it will be easier to compare results from different laboratories. The beans in the distal part of the pods could be treated separately in order to ensure homogeneity of the batches to be treated in the post-harvest processes.

Key-words: Phenotyping, bean size, number of beans per pod

## Introduction

L'amélioration génétique du cacaoyer a pour principaux objectifs d'accroître la production des arbres et d'améliorer la qualité du cacao produit. Pour améliorer la production des arbres, il est nécessaire i) d'améliorer la résistance des arbres aux principales maladies pouvant affecter la production et ii) d'améliorer la production en terme de poids de cacao marchand. La production d'un arbre ou d'une parcelle dépend du nombre de cabosses récoltées, du nombre de graines par cabosse et du poids moyen des graines (Cilas et al, 2010). La production d'un arbre  $i$  entre la date  $t$  et la date  $t+s$  ( $P_i [t, t+s]$ ) peut donc s'écrire :  $P_i [t, t+s] = \text{NoCabsi} [t, t+s] \times \text{NoGi} [t, t+s] \times \text{PGi} [t, t+s]$

avec :

NoCabsi  $[t, t+s]$ : nombre de cabosses produites par l'arbre  $i$  entre la date  $t$  et la date  $t+s$

NoGi  $[t, t+s]$ : Nombre moyen de graines par cabosse récoltée sur l'arbre entre  $i$  entre la date  $t$  et la date  $t+s$

PGi  $[t, t+s]$ : poids moyen des graines produites par l'arbre entre  $i$  entre la date  $t$  et la date  $t+s$

Toute chose égale par ailleurs, un accroissement du poids moyen des fèves a donc un impact positif sur la production de cacao marchand. Par ailleurs, le poids moyen des fèves, ou leur taille, est un caractère qui intéresse les industriels. Les fèves trop petites ne sont généralement pas appréciées, mais, plus qu'un poids élevé des fèves, les industriels recherchent surtout une homogénéité de la granulométrie afin de faciliter le traitement des fèves, comme la torréfaction. Le poids moyen des fèves est donc un caractère essentiel à prendre en compte dans l'amélioration génétique du cacaoyer.

Plusieurs études ont révélé que ce caractère était fortement héritable (Cilas et al, 1989), mais les valeurs obtenues dans différentes études restent assez variables pour des mêmes clones. Nous avons donc voulu comprendre comment ce caractère variait en fonction de plusieurs facteurs, notamment le remplissage des cabosses en fèves, et la position des fèves dans les cabosses. Des observations sur plusieurs clones situés dans la collection du Cirad en Guyane française ont été conduites pour répondre ces questions : i) quel est l'impact du remplissage des cabosses en fèves sur le poids des fèves ? ii) existe-t-il une hétérogénéité de la taille des fèves au sein des cabosses (entre les zones pédonculaire, médiane et distale des cabosses) ?

## Matériel et méthodes

### *Matériel végétal*

Les cabosses étudiées proviennent de quatre clones (IMC 97, CCN 51, Na 79, Pa 121) présents dans la station expérimentale du Cirad de Pointe Combi en Guyane française. Ces clones ont été choisis en raison de la disponibilité de leurs cabosses.

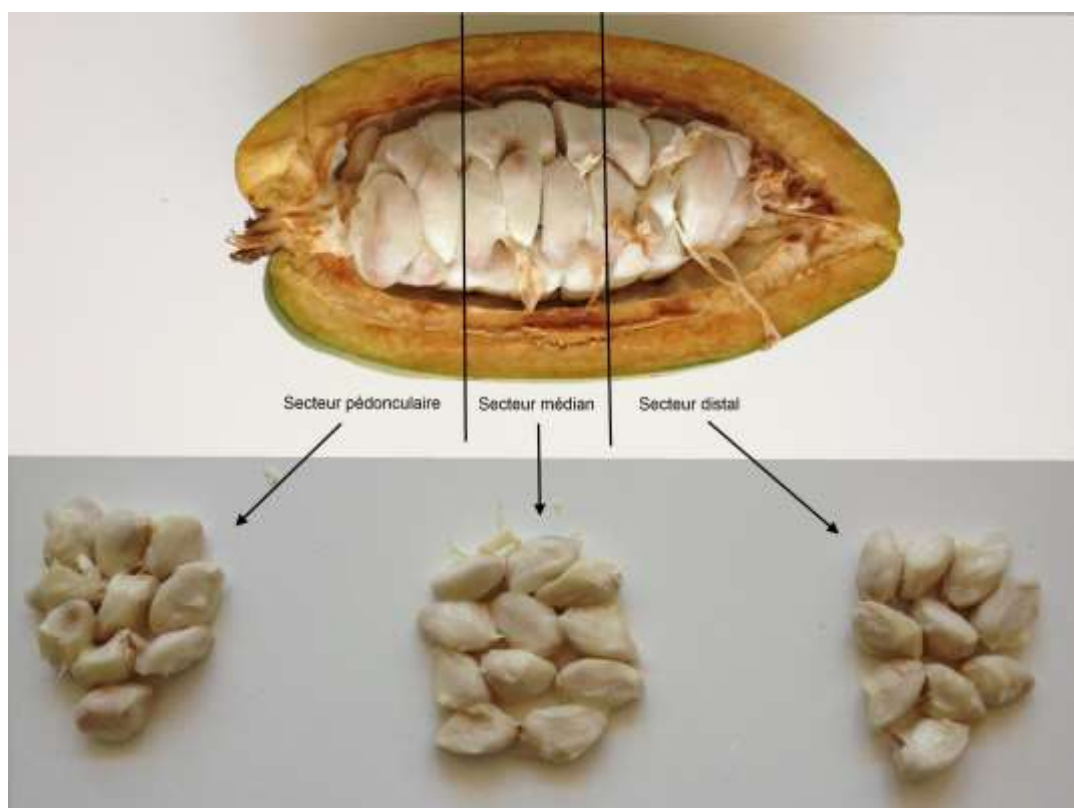
### *Observations*

Les cabosses arrivées à maturité sont récoltées et amenées au laboratoire Cirad de Kourou. Le poids de chaque cabosse est déterminé : poids de la cabosse entière, poids des fèves et poids du cortex. Les fèves de chaque cabosse sont dénombrées et séparées en 3 secteurs d'effectif équivalent (Figure 1) : secteur pédonculaire, secteur médian et secteur distal. Les fèves de chaque secteur sont pesées.

### *Analyses statistiques*

Les données sont analysées suivant des modèles classiques d'analyse de variance. Pour le nombre de fèves par cabosse et les poids de cabosses et le poids global des fèves il s'agit d'un modèle d'analyse de variance à un facteur : clone. Pour les poids de cabosses et le poids global des fèves des analyses de covariance sont également réalisées on utilisant le nombre de fèves par cabosses comme covariable.

Pour le poids des fèves par secteur des ANOVA à 2 facteurs (clone et secteur) sont réalisées et des analyses de covariances sont effectuées en utilisant le nombre de fèves par cabosses comme covariable.



**Figure 1** : Partage d'une cabosse en 3 secteurs pour caractérisation

### Résultats

Le nombre moyen de fèves par cabosses est significativement différents avec un nombre de fèves par cabosse plus important pour le clone IMC 97 (Tableau 1). Les différences sont significatives pour l'ensemble des variables étudiées.

IMC 97 a également des valeurs supérieures pour le poids total de cabosses, pour le poids de cortex et pour le poids totale de fèves par cabosses. En revanche, c'est le clone CCN 51 qui a le poids moyen d'une fève le plus important (forte granulométrie) – (Tableau 1)

**Tableau 1**: Comparaison des clones pour le nombre de fèves par cabosse (*NbBeans*) pour le poids d'une cabosse (*PPodtot*), pour le poids du cortex (*PCortex*), pour le poids de fèves par cabosse (*PBeans*), pour le poids moyen d'une fève (*PmBeans*) et test de comparaison multiple des moyennes (Newman-Keuls 5%). Pour la dernière colonne, Poids moyen d'une fève ajusté à la covariable: nombre de fèves par cabosse.

Clones	<i>NbBeans</i>	<i>PPodtot</i>	<i>PCortex</i>	<i>PBeans</i>	<i>PmBeans</i>	<i>PmBeans</i> <i>Cov : NbBeans</i>
IMC 97	41.9 <b>a*</b>	657.1 <b>a</b>	503.1 <b>a</b>	154.0 <b>a</b>	3.75 <b>b</b>	3.90 <b>b</b>
Na 79	29.9 <b>b</b>	317.4 <b>c</b>	241.8 <b>c</b>	74.4 <b>c</b>	2.55 <b>c</b>	2.54 <b>c</b>
CCN 51	27.1 <b>b</b>	579.9 <b>b</b>	440.7 <b>b</b>	139.2 <b>b</b>	5.10 <b>a</b>	5.06 <b>a</b>
Pa 121	26.6 <b>b</b>	277.0 <b>c</b>	<b>211.4</b> <b>c</b>	65.6 <b>c</b>	2.51 <b>c</b>	<b>2.46</b> <b>c</b>

\*les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Pour le poids moyen d'une fève, l'analyse de covariance indique qu'il existe un fort effet de la covariable : nombre de fèves par cabosse. Les cabosses mieux remplies en fèves ont des fèves moins lourdes en moyenne. Les moyennes ajustées à cette covariable sont toutefois dans le même ordre pour les 4 clones considérés.

Pour vérifier si l'effet de la covariable est le même pour chacun des 4 clones, une régression du poids moyen d'une fève sur le nombre de fèves par cabosse est réalisé pour chacun des 4 clones (Figure 2).

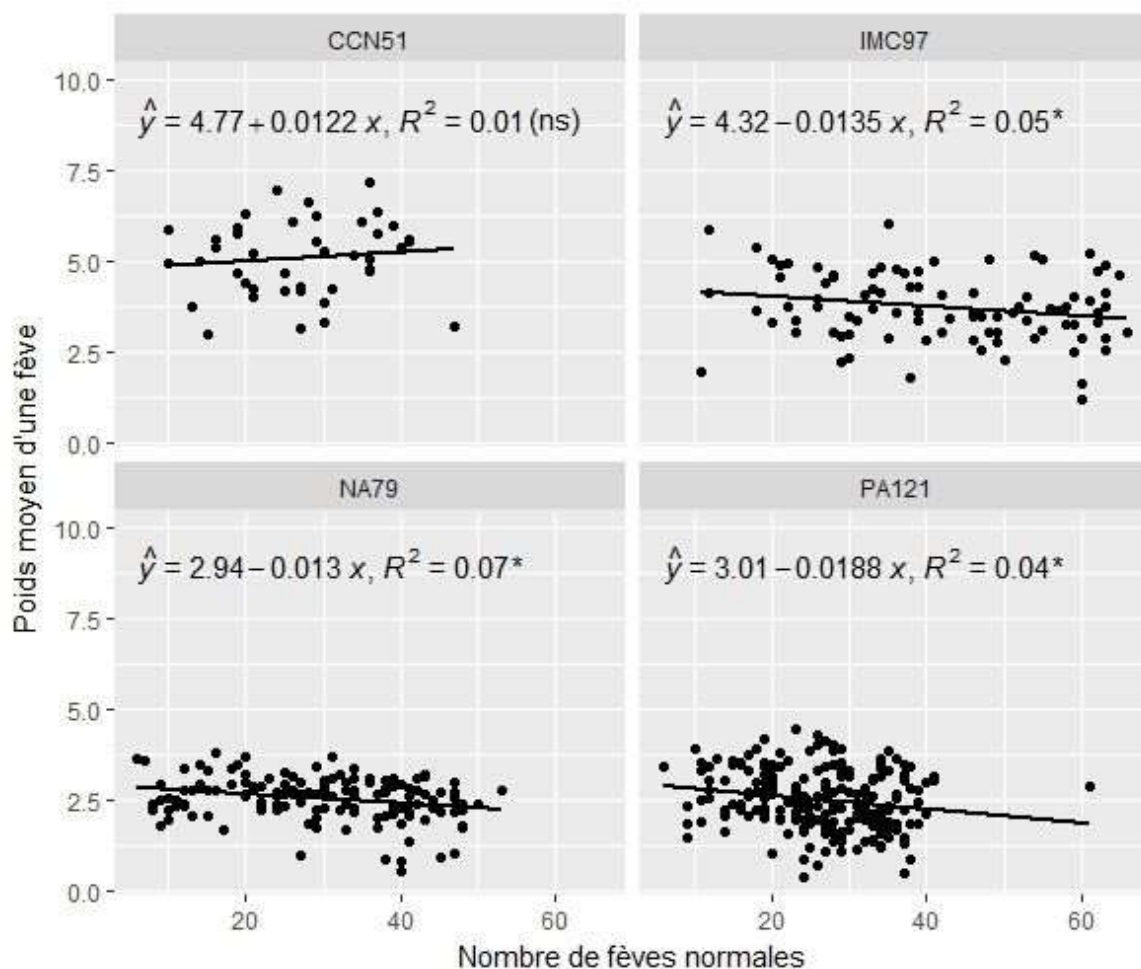


Figure 2 : Régression entre le poids moyen d'une fève et le remplissage des cabosses en fèves pour chacun des 4 clones

L'effet des secteurs (pédoncule, médian, distal) est ensuite pris en compte. Les effets Clone et Secteur sont significatifs mais l'interaction entre ces deux facteurs ne l'est pas (Tableau 2). L'effet du Secteur existe donc de la même manière pour les 4 clones.

Tableau 2 : Modèle linéaire générale pour le poids moyen d'une fève en fonction des facteurs Clones et Secteur et de la covariable nombre de fèves par cabosses.

Source	DDL	Type III SS	Moyenne quadratique	Valeur F	Pr > F
Clone	3	970.36	323.453	485.87	<.0001
Secteur	2	58.07	29.035	43.61	<.0001
Clone*Secteur	6	5.57	0.929	1.40	0.2129
NbBeans	1	28.24	28.236	42.41	<.0001

Les comparaisons des moyennes des clones et des secteurs sont ensuite réalisées suivant ce modèle (Tableau 3).

Tableau 3: Comparaison des moyennes ajustées suivant le modèle linéaire général – comparaison des clones et des 3 secteurs de la cabosse

Clones	<i>PmBeans</i>	Secteur	<i>PmBeans</i>
CCN 51	5.05 a*	Pedonc	3.69 a
IMC 97	3.88 b	Median	3.61 a
Na 79	2.54 c	Distal	3.15 b
Pa 121	2.46 c		

Les moyennes des clones sont peu différentes de celles estimées précédemment et le classement des clones n'est pas modifié. Il existe une forte différence entre les 3 secteurs considérés avec un poids moyen des fèves nettement plus faible dans la région distale des cabosses (réduction de 15% en moyenne).

### Discussion et conclusion

Il existe un fort effet génétique sur le poids des cabosses et des fèves, ce qui confirme des études antérieures (Enriquez & Soria, 1968 ; Cilas et al, 1989). L'effet du remplissage des cabosses en fèves sur le poids moyen d'une fève est mis en évidence ; en moyenne, pour un génotype donné, les cabosses ayant plus de fèves ont des fèves un peu moins lourdes. Il existerait donc probablement une compétition entre les fèves au sein des cabosses, *i.e.* les fèves pourraient manquer de place pour leur expansion lorsque la cabosse contient beaucoup de fèves. Toutefois, cet effet semble différent en fonction des génotypes. Le nombre de fèves par cabosse est dépendant du nombre d'ovules par ovaire et du niveau de pollinisation des fleurs (Falque et al, 1995). Le nombre d'ovules par ovaire est un caractère génétique très héritable (Cilas et al, 2010) ; en revanche la pollinisation efficace est dépendante de plusieurs facteurs : le caractère d'auto(in)compatibilité du matériel végétale, du trafic des insectes pollinisateurs et donc de nombreux facteurs environnementaux.

Le poids moyen des fèves n'est pas le même au sein d'une cabosse ; les fèves de la zone distale ont des fèves significativement moins lourdes que les fèves des deux autres zones (pédonculaire et distale).

### Références

Cilas C, Duchemin C, Lotodé R (1989) L'amélioration génétique de la qualité du cacao: étude de la granulométrie. *Café Cacao Thé* 33: 3-8.

Cilas C, Machado R, Motamayor JC (2010) Relations between several traits linked to sexual plant reproduction in *Theobroma cacao* L.: Number of ovules per ovary, number of seeds per pod, and seed weight. *Tree Genetics and Genomes*, 6 (2) : 219-226.

Enriquez G, Soria JV (1968) The variability of certain bean characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Euphytica* 17(1):114-20.

Falque M, Vincent A, Vaissiere BE, Eskes AB (1995) Effect of pollinisation intensity on fruit and seed set in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Sexual Plant Reproduction* 8: 354-360.