

ETUDE DE LA FERTILITE FEMELLE DE CINQ CLONES CULTIVES D'*Hevea brasiliensis* MUELL ARG. (EUPHORBIACEE), EN CÔTE D'IVOIRE

E. S. BELI¹, E. K. KOFFI², N. OULO¹, M. Y. GNAGNE³, A. SANGARE² et S.-P. A. N'GUETTA¹

¹Université de Cocody. Abidjan, Côte d'Ivoire. UFR Biosciences. Laboratoire de Génétique. 22 BP 582 Abidjan 22. Côte d'Ivoire. E-Mail : ericbeli@yahoo.f

²CNRA. Laboratoire Central de Biotechnologies. 01 BP 1740 Abidjan 01. Côte d'Ivoire.

³CNRA. Station de recherche de Bimbresso. 01 BP 1740 Abidjan 01. Côte d'Ivoire.

RESUME

Après 15 années de pollinisation manuelle, la fertilité femelle des clones cultivés Wickham de *Hevea brasiliensis* a été évaluée en Côte d'Ivoire, à partir de 3 estimateurs tels que : les taux de nouaison, d'abscission des fruits et de succès à la pollinisation. La structuration de cette fertilité, par rapport aux 3 estimateurs, a été étudiée chez 5 clones cultivés Wickham, à l'aide de l'analyse factorielle discriminante. Les clones PB5/51, PB260 et PB 235 ont eu des taux moyens de nouaison plus élevés, compris entre 11,3 et 15 %. Les taux moyens de succès à la pollinisation de ces clones ont varié entre 7,09 et 9,13 %. Les taux moyens d'abscission des fruits, également élevés, se sont situés entre 31,72 et 55,91 %. Les taux moyens d'abscission des fruits des clones AVROS2037 et GT1 ont varié entre 18,86 et 41,84 %. Ces deux clones ont présenté, en moyenne, des taux de nouaison faibles, compris entre 3,98 et 4,41 %. Les taux de succès à la pollinisation, également faibles, ont varié de 2,07 à 3,98 %. Enfin, l'étude a permis de montrer la mauvaise fertilité femelle chez *Hevea brasiliensis*, par la mise en évidence de clones bons grainiers (PB5/51, PB 260, PB 235) et mauvais grainiers (GT 1, AVROS 2037).

Mots-clés : *Hevea brasiliensis*, nouaison, abscission, fruits, pollinisation.

ABSTRACT

FEMALE FERTILITY OF FIVE RUBBER TREE CLONES (*Hevea brasiliensis* MUELL ARG) IN CÔTE D'IVOIRE

After 15 years of manual pollination in Côte d'Ivoire, female fertility of *Hevea brasiliensis* rubber tree clones was assessed from 3 estimators of fertility, which were the aborted seed, was studied in 5 Wickham clones, using a discriminate factor analysis. The PB5/51, PB260 and PB235 clones, which were good seeders, had high initial and final fruit set average rates (11.23 to 15.17 % and 7.09 to 9.13 %), with the highest average rates of aborted seeds (31.72 to 55.91 %). These were, either lower, or higher (18.86 to 41.84 %) for the GT1 and AVROS2037 clones, which were found to be bad seeders. Overall, the study showed a better understanding of the low fertility of the *Hevea brasiliensis* rubber tree through the identification of good (PB5/51, PB 260, PB 235) and bad seeders (GT 1, AVROS 2037).

Keywords : *Hevea brasiliensis*, initial fruit set, fruit drop, pollination success.

INTRODUCTION

Le genre hévéa, originaire de l'Amazonie, compte 10 espèces dont *Hevea brasiliensis* (Willd. ExAdr. De Juss Muell.-Arg) qui est cultivé dans plusieurs pays tropicaux comme principale source de caoutchouc naturel. C'est une espèce monoïque à allogamie chez laquelle l'auto

fécondation est aussi observée (Sunderasan *et al.*, 1994). A l'état spontané en Amazonie, la pollinisation naturelle chez l'hévéa est généralement réalisée par des insectes et parfois par le vent. Après la pollinisation de la fleur d'hévéa qui contient normalement 3 ovules, généralement 3 tubes polliniques atteignent le sac embryonnaire, à raison d'un tube par ovule. Immédiatement après la double fécondation, la

graine commence à se former à partir des divisions de l'albumen. Les divisions de l'embryon commencent environ 4 semaines après celles de l'albumen. La graine achève sa formation à environ 11 semaines après fécondation. La nouaison se manifeste par le gonflement de la paroi ovarienne. Celle-ci marque le début de la formation du fruit qui se développe rapidement pour atteindre sa maturation, environ 10 semaines après fécondation (Leconte, 1984). L'hévéa est caractérisé par une mauvaise fertilité femelle, qui de plus, varie selon les clones (Nouy et Nicolas, 1985). Le taux moyen de fructification est inférieur à 5 % en Côte d'Ivoire (Nouy et Nicolas, 1985). Au Sri Lanka, il est très souvent inférieur à 2 % (Sedgley et Attanayake, 1988). Chez la plante, les faibles taux de fluctuation annuelle de pollinisation conduisent à une réduction de l'effectif des familles obtenues par pollinisation manuelle. Cela ne permet ni d'avoir assez de combinaisons entre les géniteurs, ni d'estimer, avec précision, certains paramètres génétiques comme l'Aptitude Générale à la Combinaison (AGC), l'Aptitude Spécifique à la Combinaison (ASC) et l'héritabilité (Legnate et Clément-Demange, 1990). La faible fertilité femelle de l'hévéa se traduit par une chute plus ou moins importante de fleurs avant nouaison ou des fruits après nouaison. La chute des fleurs avant nouaison est généralement liée à l'absence de fécondation. Elle peut être également due soit à des causes mécaniques comme la pluie, le vent, l'endommagement accidentel du stigmate lors de la pollinisation, soit à une mauvaise germination du pollen, prématurément collecté le matin, soit à la période de pollinisation (Sedgley et Attanayake, 1988). La chute des fruits, quant à elle, se produit généralement lorsque ceux-ci contiennent un nombre de graines inférieur à 3 (Harihar et Yeang, 1984). Antoine Leconte (1984) a montré qu'il n'y avait pas de problème d'incompatibilité gamétophytique chez l'hévéa. Les allopollinisations et les autopollinisations ainsi que les tubes polliniques se développent normalement jusqu'au

niveau des ovules. La chute des fruits d'hévéa est probablement la conséquence d'une incompatibilité sporophytique qui se manifeste dans l'ovaire par une embryogenèse anormale (Sedgley et Attanayake, 1988). En effet, chez le pistachier, plusieurs cas d'anomalies du développement incluant la dégénérescence de l'embryon, de l'endosperme et du funicule ont été rapportés (Bradley et Crane, 1975). Cette chute de fruits est également observée chez un grand nombre d'espèces fruitières comme le pommier, le citronnier et le manguier (Stephenson, 1981).

La présente étude vise à évaluer la fertilité femelle des clones cultivés d'*Hevea brasiliensis*, à travers l'estimation des taux de nouaison, d'abscission des fruits formés après nouaison et de succès à la pollinisation manuelle. Il s'agit, plus spécifiquement, de structurer la fertilité femelle des clones d'hévéa à l'aide d'une analyse factorielle discriminante, et de comparer la fertilité de ces clones par le test de Duncan, après plusieurs années de pollinisation manuelle. L'objectif de cette étude est de mieux comprendre la mauvaise fertilité femelle des clones d'*Hevea brasiliensis*.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL

Le matériel de travail comprend 13 clones cultivés Wickham plantés dans les parcelles de la station expérimentale de Bimbresso du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), le sud-est de la Côte d'Ivoire. Ce matériel végétal comprend 5 géniteurs femelles (GT1, AVROS 2037, PB 5/51, PB 235 et PB 260) et 8 clones mâles (AF 261, IR 22, NAB 17, PR 107, RRIC 110, RRIM 600, RRIM 605 et RRIM 703). A l'exception du clone AF 261 qui est natif de la Côte d'Ivoire, les autres sont originaires de l'Asie du Sud-est (Tableau 1).

Tableau 1 : Origine génétique et géographique des clones d'hévéa cultivés.*Parental and geographical origin of cultivated rubber clones*

Clone	Origine génétique des clones		Origine géographique des clones
	Parent femelle	Parent mâle	
AF261	Primaire	-	Côte d'Ivoire
IR22	-	-	-
NAB17	TJKADUsee	-	Sri-Lanka
PR107	Primaire	-	Java
RRIC110	LCB1320	RRIC7	Sri-Lanka
RRIM600	TJIR1	PB86	Malaisie
RRIM605	TJIR1	PB49	Malaisie
RRIM703	RRIM600	RRIM500	Malaisie
GT1	Primaire	-	Java
AVROS2037	Avros256	Avros374	Sumatra
PB5/51	PB56	PB24	Malaisie
PB235	PB5/51	PB5/78	Malaisie
PB260	PB5/51	PB49	Malaisie

DESCRIPTION DE L'ESSAI

Pour l'étude de la fertilité des clones d'*Hevea brasiliensis*, un essai factoriel 5 x 8 a été réalisé à la station expérimentale de Bimbresso en zone forestière du sud la Côte d'Ivoire. Quarante croisements ont ainsi été réalisés à partir de 5 géniteurs femelles et de 8 parents mâles (Tableau 2). Le milieu d'étude est caractérisé par un sol qui est majoritairement ferrallitique, dérivant de sables tertiaires profonds, sablo argileux. Ces sols qui sont pauvres en bases échangeables et sont fortement désaturés avec un pH acide compris entre 4,5 et 5 (Keli *et al.*, 1992). La limite inférieure de cette aire de culture est le Golfe de Guinée et la limite supérieure l'isohyète 1500 mm. La Côte d'Ivoire a un climat subtropical humide avec 4 saisons (Elden, 1971 ; BDPA, 1978) : une grande saison de pluie de avril à juillet, une petite saison sèche d'août à septembre, une petite saison de pluie d'octobre à novembre et une grande saison sèche de décembre à mars. La pluviométrie est abondante avec 1800 mm par an sur 20 ans. Celle-ci présente une variabilité intra et inter annuelles importantes (Obouayeba, 1991). La température moyenne annuelle est de 25,8 °C avec des

variations saisonnières de faibles amplitudes. Les températures mensuelles varient très peu : Elles se situent entre 28,5 °C et 29 °C pour les mois de février, mars et avril de 25,6 °C en moyenne pour les mois d'août et septembre (Keli *et al.*, 1992). L'insolation est de 1500 h. Les treize clones ont été répartis de manière aléatoire dans les parcelles expérimentales d'Anguédédou du CNRA. Chaque clone est représenté par dix hévéas plantés dans un même bloc.

COLLECTE DES DONNEES RELATIVES A LA FERTILITE FEMELLE

Les données relatives à la fertilité femelle, telles que le taux de nouaison, le taux d'abscission des fruits et le taux de succès à la pollinisation, ont été collectées lors des campagnes de pollinisation manuelle réalisées de 1974 à 1998 pour la production d'hybrides en Côte d'Ivoire. Les clones cultivés ont été plantés la même année. Les géniteurs femelles sélectionnés sont ceux qui ont été croisés avec le même nombre et les mêmes partenaires mâles. Le nombre d'années de pollinisation par croisement a varié de un à onze.

Tableau 2 : Estimation de la fertilité femelle de cinq clones cultivés d'*Hevea brasiliensis*.*Estimation of cultivated rubber (Hevea brasiliensis) clones female fertility.*

Code des croisements	Géniteur femelle	Géniteur male	Taux moyen de nouaison (%)	Taux moyen d'abscission des fruits (%)	Taux moyen de maintien des fruits formes après la nouaison (%)	Taux moyen de succès a la pollinisation manuelle (%)
AV1	AVROS2037	AF261	1,70	42,42	57,58	0,98
AV2	AVROS2037	IR22	2,40	6,67	93,33	2,23
AV3	AVROS2037	NAB17	3,02	5,33	94,67	2,85
AV4	AVROS2037	PR107	8,6	12,82	87,18	7,46
AV5	AVROS2037	RRIC110	5,1	41,02	58,98	2,95
AV6	AVROS2037	RRIM600	4,84	35,59	64,41	3,12
AV7	AVROS2037	RRIM605	5,8	13,89	86,11	4,98
AV8	AVROS2037	RRIM703	0,99	3,03	96,97	0,96
GT1	GT1	AF261	9,03	57,94	42,06	3,80
GT2	GT1	IR22	3,95	30,21	69,79	2,76
GT3	GT1	NAB17	5,37	3,11	96,89	5,21
GT4	GT1	PR107	3,92	79,02	20,98	0,82
GT5	GT1	RRIC110	2,53	59,21	40,79	1,03
GT6	GT1	RRIM600	2,92	64,96	35,04	1,02
GT7	GT1	RRIM605	2,18	62,31	37,69	0,82
GT8	GT1	RRIM703	3,42	27,90	72,10	2,47
P51	PB5/51	AF261	10,39	68,61	31,39	3,26
P52	PB5/51	IR22	22,90	22,00	78,00	17,86
P53	PB5/51	NAB17	14,88	70,50	29,50	4,39
P54	PB5/51	PR107	9,25	63,92	36,08	3,34
P55	PB5/51	RRIC110	22,05	49,10	50,90	11,23
P56	PB5/51	RRIM600	17,86	45,51	54,49	9,51
P57	PB5/51	RRIM605	11,39	64,63	35,37	4,03
P58	PB5/51	RRIM703	11,91	21,78	78,22	9,32
P21	PB235	AF261	11,68	38,98	61,02	7,13
P22	PB235	IR22	13,05	18,35	81,65	10,65
P23	PB235	NAB17	17,96	39,57	60,43	10,86
P24	PB235	PR107	7,18	7,21	92,79	6,67
P25	PB235	RRIC110	17,21	30,96	69,04	11,88
P26	PB235	RRIM600	8,30	41,18	58,82	4,88
P27	PB235	RRIM605	13,89	64,33	35,67	4,95
P28	PB235	RRIM703	5,82	26,03	73,97	4,31
P01	PB260	AF261	13,07	22,52	77,48	10,13
P02	PB260	IR22	11,55	23,25	76,75	8,87
P03	PB260	NAB17	17,15	28,95	71,05	12,19
P04	PB260	PR107	20,00	13,85	86,15	17,23
P05	PB260	RRIC110	5,30	37,82	62,18	3,29
P06	PB260	RRIM600	2,15	12,36	87,64	1,88
P07	PB260	RRIM605	15,90	49,69	50,31	8,00
P08	PB260	RRIM703	3,33	2,72	61,02	3,24

TECHNIQUE DE POLLINISATION MANUELLE

Les pollinisations manuelles ont été réalisées le matin de 8 à 11h, sur des arbres adultes. Pour chaque clone, 10 arbres ont été utilisés et sur chaque arbre, trois branches ont été choisies. La pollinisation a été réalisée sur l'ensemble des fleurs de ces trois branches. Les arbres choisis, ont été ceux qui ont atteint la maturité sexuelle, et les pistils possèdent un

périanthe jaune vif avec les sommets des lobes prêts à se séparer. Les lobes du périanthe ont été écartés délicatement et une colonne staminale de la fleur mâle du parent sélectionné a été insérée horizontalement au moyen d'une paire de fines pinces. Les sommets du périanthe ont été ensuite repliés sur eux-mêmes, le tout fermé avec une goutte de latex pour éviter toute autofécondation.

ESTIMATION DE LA FERTILITE FEMELLE

Après pollinisations, le nombre total de fleurs pollinisées, le nombre total de fleurs nouées deux mois après la pollinisation et le nombre de graines récoltées ont été relevées pour chaque clone. Ces données ont permis de calculer les estimateurs de la fertilité femelle (Leconte, 1984 ; Nouy et Nicolas, 1985) : Le taux de nouaison (T x NOU) qui correspond au rapport du nombre de fleurs nouées sur le nombre de fleurs pollinisées. Le taux d'abscission des fruits après la nouaison (T x MFR) qui est le rapport du nombre de graines récoltées sur trois fois le nombre de fleurs nouées (le fruits d'hévéa contient en général trois graines). Le taux de maintien des fruits formés après la nouaison est lié au taux d'abscission (T x AFR) des fruits après la nouaison par la relation suivante : T x MFR = 100 - T x AFR. Le taux de succès à la pollinisation (T x POL) qui représente le rapport du nombre de graines récoltées sur trois fois celui des fleurs pollinisées. Ce taux est un indicateur de la fertilité femelle telle qu'elle a été observée, et il résulte en très grande partie des deux autres. Il ne prend pas en compte le pourcentage de germination des graines récoltées.

METHODE D'ANALYSE DES DONNEES DE POLLINISATION

Pour étudier la fertilité femelle des clones, l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été réalisée sur les données centrées réduites avec le logiciel XL-STAT 7.5.3. Dans cette AFD, les moyennes des taux de nouaison, d'abscission des fruits et de succès à la pollinisation des géniteurs femelles ont été comparées grâce au test du Lambda de Wilks (Shapiro et Wilk, 1965). Pour l'étude de la variabilité de la fertilité femelle des clones, le critère de classification (Dagnelie, 1975) du modèle d'analyse de la variance utilisé est le suivant :

$$x_{ik} - \bar{x} = (\bar{x}_i - \bar{x}) + (x_{ik} - \bar{x}_i).$$

La variation totale est égale à la somme de la variation factorielle et la variation résiduelle. La somme des carrés des écarts totale (SCE_t) est divisée en deux composantes additives que sont la somme des carrés des écarts factoriels (SCE_f) entre groupe, et la somme des carrés des écarts résiduelle (SCE_r) à l'intérieur des groupes : $SCE_t = SCE_f + SCE_r$. Le nombre de degrés de

liberté (ddl) se décompose comme suit : $n - 1 = (p - 1) + (n - p)$. Le ddl de la variation totale est égal à $n - 1$. Le ddl de la variation factorielle est égal à $(p - 1)$, et le ddl de la variation résiduelle est égal à $(n - p)$. Le carré moyen (CM) de la variation totale est $CM_t = SCE_t / (n - 1)$. Le carré moyen de la variation factorielle est $CM_f = SCE_f / (p - 1)$. Le carré moyen de la variation résiduelle est $CM_r = SCE_r / (n - p)$.

La valeur du $F_{observée}$ ($F_{calculée}$) = CM_f / CM_r est comparée à la valeur du $F_{théorique}$ ($F_{critique}$) lue dans la table de Fisher-Snedecor avec $p - 1$ et $n - p$ degrés de liberté. Cette comparaison a permis de tester les hypothèses H_0 (hypothèse nulle) d'égalité des moyennes et H_1 (hypothèse alternative) pour une probabilité d'erreur de première espèce alpha (α). Si $F_{observée}$ est inférieure à $F_{théorique}$, la probabilité en faveur de l'hypothèse nulle (p ou p-value unilatéral) est inférieure au seuil α . Le test est dit non significatif et les moyennes comparées ne sont pas significativement différentes. Si $F_{observée}$ est supérieure à $F_{théorique}$ au seuil de 5 %, la probabilité p est supérieure au seuil 0,05 et le test est dit significatif. Dans ce cas, les moyennes comparées sont significativement différentes avec une probabilité de 95 % ($1 - \alpha$). Les moyennes des trois estimateurs de la fertilité femelle des clones qui sont significativement différentes ont été comparées deux à deux, en utilisant soit le test du Lambda de Wilks (Shapiro et Wilks, 1965), soit le test de Duncan (Dagnelie, 1965). Le test de Duncan a été réalisé après une transformation angulaire des données de type « arc sinus racine carré de $p / 100$ » (Dagnelie, 1986 ; Sokal et Rohlf, 1995), où p représente une proportion exprimée en pourcentage. Cette transformation angulaire a permis de rendre les variables asymptotiquement normales et de respecter la condition d'égalité des variances. L'homogénéité intra clonale a été estimée par les coefficients de variation. L'homogénéité des variances a été vérifiée par le test «F» de Fisher (logiciel SPSS 10.0).

RESULTATS

STRUCTURATION DE LA FERTILITE DE CINQ GENITEURS FEMELLES CULTIVES

D'après le test Lambda de Wilks (0,246), la valeur du $F_{critique}$ (1,867) est inférieure à celle du

$F_{\text{observée}}$ (5,133) avec p-value unilatérale $< 0,0001$. Le test de Fisher (Tableau 3) montre que les distances de Mahalanobis entre les centres de gravité des groupes (clones) PB 5/51, PB 235 et PB 260 sont significativement différents de ceux des groupes AVROS 2037 et GT 1. Le plan principal (1, 2) de l'AFD explique 94,57 % de la variabilité totale de la fertilité. L'axe 1 auquel est associé la nouaison des fleurs et le succès de la pollinisation (fructification), représente 80,38 % de cette variabilité tandis que l'axe 2 qui représente l'abscission des fruits en exprime 14,19 % (Figure 1). La projection des individus selon l'axe 1 fait apparaître deux ensembles de croisements. Le premier (A) est essentiellement composé des clones AVROS 2037 et GT 1 caractérisés par des croisements qui donnent les plus faibles taux moyens de nouaison qui sont respectivement de 3,98 % et 4,41 %. Le second ensemble (B) est composé des clones PB 5/51, PB 260 et PB 235 qui sont caractérisés par des taux moyens de nouaison les plus élevés (PB 5/51 : 15,17 % ; PB 260 : 13,29 % ; PB 235 : 11,23 %). L'axe 1 oppose également les clones qui ont des taux moyens de réussite à la pollinisation faibles (GT 1 : 2,07 % ; AVROS 2037 : 3,98 %) aux clones qui ont des taux moyens de réussite plus élevés

(PB 260 : 9,13 % ; PB 5/51 : 7,09 % ; PB 235 : 6,83 %). A l'intérieur de chacun des deux ensembles, deux types de croisements ont été mis en évidence suivant l'axe 2. Ce sont les croisements qui impliquent les clones qui donnent les plus faibles taux moyens d'abscission des fruits (AVROS 2037 : 18,86 % et PB 260 : 31,72 %). Ce sont aussi les croisements réalisés avec les clones qui conduisent aux plus forts taux moyens d'abscission des fruits (GT 1 : 41,84 % et PB5/51 : 55,91 %). Au niveau des clones GT 1 et AVROS 2037, les taux de nouaison et de réussite à la pollinisation sont corrélés positivement avec un coefficient de corrélation de Pearson qui est significatif au seuil 5 % et qui est égal à 0,745. Par contre, il n'y a pas de corrélation entre ces deux taux et le taux de maintien des fruits. Au niveau des clones PB 5/51, PB 260 et PB 235, le coefficient de corrélation de Pearson entre le taux de nouaison et le taux de succès à la pollinisation est significatif au seuil 5 % et égal à 0,702. La corrélation entre le taux de maintien des fruits et le taux de succès à la pollinisation est également significative et négative ($r = -0,498$). Il n'y a pas de corrélation entre les taux de nouaison et d'abscission des fruits ($r = 0,215$).

Tableau 4 : Test F de Fisher associé aux distances de Mahalanobis entre les centres de gravité des groupes de clones d'Hévéa AVROS 2037, GT 1, PB 235, PB 260 et PB 5/51.

Fisher test associated with Mahalanobis distances between AVROS 2037, GT 1, PB 235, PB 260 and PB 5/51 Hevea clones groups.

Clones	Clones				
	AVROS2037	GT1	PB235	PB260	PB5/51
AVROS2037	0	2,272	4,765*	7,743*	14,120*
GT1	2,272	0	3,739*	6,139*	9,607*
PB235	4,765*	3,739*	0	0,715	2,894
PB260	7,743*	6,139*	0,715	0	3,062
PB5/51	14,120*	9,607*	2,894	3,062	0

* : valeurs significatives au seuil alpha = 0,05

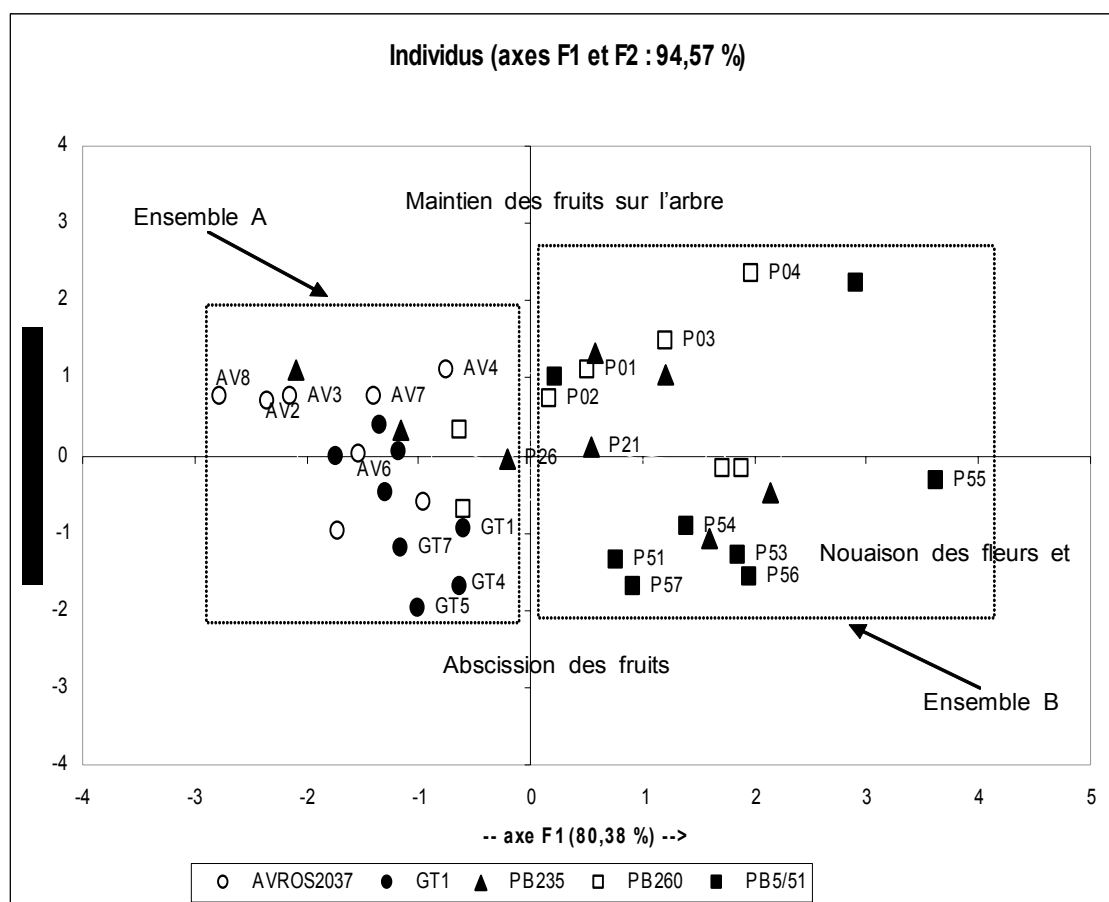


Figure 1 : Projection des croisements entre cinq géniteurs cultivés femelles et huit parents cultivés mâles, dans le plan 1 - 2 de l'AFD.

Projection of crossings between five female cultivated parents and eight male cultivated ones, in the FDA 1 - 2 plan.

COMPARAISON DE LA FERTILITE DE CINQ GENITEURS FEMELLES CULTIVES

D'après l'analyse de variance de la fertilité des 5 géniteurs femelles (Tableau 4), les valeurs de F (Fisher) pour les taux de nouaison ($F = 12,032$ et $P < 0,0001$), de maintien des fruits après nouaison ($F = 6,884$ et $P < 0,0001$) et de succès de la pollinisation ($F = 5,636$ et $P < 0,0000$), montrent qu'il y a des différences significatives entre certains géniteurs femelles, au seuil de 5 %. La comparaison de la fertilité des géniteurs femelles par le test de Duncan (Tableau 5) indique que les géniteurs femelles PB 260, PB 235 et PB 5/51 ont les meilleurs taux de succès à la pollinisation manuelle (respectivement 7,65 et 6,76 %) et sont donc plus fertiles que les clones GT 1 (1,95 %) et

AVROS 2037 (2,90 %). Les clones AVROS 2037 et GT 1 ont un taux de nouaison faible (respectivement 2,90 et 4,46 %), tandis que les clones PB 5/51, PB 260 et PB 235 ont une nouaison importante (respectivement 14,61, 11,43 et 10,56 %). Le clone PB 5/51 qui a un taux de maintien des fruits égal à 39,89 % perd plus de fruits que les quatre autres géniteurs femelles après nouaison. Le clone GT 1 qui a un taux de maintien des fruits égal à 58,55 % perd plus de fruit après nouaison que le clone AVROS 2037 dont le taux de maintien des fruits est égal à 82,49 %. Les coefficients de variation du taux de nouaison (Tableau 2) montrent que les clones PB 5/51 (64,2 %), PB 260 (65,9 %) et PB 235 (69,7 %) sont plus homogènes que les clones GT 1 (87,5 %) et AVROS

2037(91,4 %). Concernant le taux de succès de la pollinisation, le clone PB 260 est le plus homogène alors que le clone GT 1 est le plus hétérogène. Toutefois, tous les clones ont des coefficients de variation relativement élevés.

Concernant le taux de maintien des fruits après la nouaison, les coefficients de variation ont été faibles et le clone AVROS 2037 a été le plus homogène tandis que les clones PB 5/51 et GT 1 sont les plus hétérogènes.

Tableau 4 : Analyse de la variance des estimateurs de la fertilité femelle des clones d'Hévéa AVROS 2037, GT 1, PB 5/51, PB 260 et PB 235.

Analysis of variances for estimators of female fertility of GT 1, AVROS 2037, PB 5/51, PB 260, PB 235 Hevea clones.

Analyse de la variance du taux de nouaison T x NOU					
Source de variation	ddl	Somme des carrés des écarts	Carré moyen	F de Fisher	Probabilité P
Facteur femelle	4	0,645	0,161	12,032	< 0,0001
Variation résiduelle	93	1,246	0,013		
Variation totale	97	1,890			
Analyse de la variance du taux de succès à la pollinisation (T x POL)					
Source de variation	ddl	Somme des carrés des écarts	Carré moyen	F de Fisher	Probabilité P
Facteur femelle	4	0,290	0,073	6,884	< 0,0001
Variation résiduelle	93	0,980	0,011		
Variation totale	97	1,270			
Analyse de la variance du taux de maintien des fruits formés après la nouaison (T x MFR)					
Source de variation	ddl	Somme des carrés des écarts	Carré moyen	F de Fisher	Probabilité P
Facteur femelle	4	2,848	0,712	5,636	0,000
Variation résiduelle	93	11,748	0,126		
Variation totale	97	14,596			

Tableau 5 : Comparaison de la fertilité femelle de cinq clones d'Hévéa, par le test de Duncan au seuil de probabilité de 5 %.

Comparison of female fertility of five Hevea clones, by the test of Duncan at 5 % probability.

clones	Estimateurs de la fertilité femelle		
	Moyenne du taux de succès de la pollinisation * (CV) **	Moyenne du taux de nouaison * (CV) **	Moyenne du taux de maintien des fruits formés après la nouaison* (CV) **
PB 260	7,65 a (65,1)	11,43 a (65,9)	65,18 ab (36,1)
PB 235	6,76 a (79,4)	10,56 a (69,7)	69,28 ab (31,6)
PB 5/51	5,96 ab (93,5)	14,61 a (64,2)	39,89 c (69,1)
AVROS 2037	2,90 bc (88,8)	2,90 b (91,4)	82,49 a (21,0)
GT1	1,95 c (110,6)	4,46 b (87,5)	58,55 b (57,7)

N.B : Pour le même caractère, les clones affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5 %, selon le test de Duncan / *For the same trait, clones with the same letter are not significantly different at 5 % probability by the test of Duncan.*

* : en pourcentage (%) / *In percentage (%)* ; ** : Coefficient de variation en pourcentage / *Coefficient of variation in percentage.*

DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude à partir d'un essai factoriel, montrent qu'il existe au sein des géniteurs femelles étudiés une variabilité de la fertilité qui se traduit par un taux de succès à la pollinisation faible ou élevé. Ce résultat confirme ceux de Olapade et Omokhafa (1990) qui ont mis en évidence des variations clonales significatives de la fructification qui est, selon ces auteurs, sous la dépendance de facteurs génétiques. Ces deux auteurs ont étudié la fertilité des clones PB 5/51, RRIM 600, PR 107 et NIG 800, à partir d'un essai diallèle complet, par la méthode de Griffing. De plus, Hamzah *et al.* (2002) ont indiqué que la faible fructification observée parmi les clones d'hévéa ainsi que sa variation sont des caractéristiques générales de la biologie de la reproduction de l'espèce *Hevea brasiliensis*.

Les résultats de la présente étude montre un effet femelle pour le taux d'abscission des fruits et également pour le taux de succès à la pollinisation. En effet, les géniteurs femelles GT 1 et AVROS 2037 ont donné des taux moyens de succès à la pollinisation faibles alors que ceux des clones PB 235, PB 5/51 et PB 260 ont conduit à des taux moyens de succès relativement plus élevés. Clément-Demange *et al.* (2007) ont indiqué que ces deux derniers clones sont les plus fertiles parmi les clones d'hévéa et les géniteurs maternels éliminent sélectivement les fruits ayant de mauvaises aptitudes génétiques. Après la pollinisation manuelle, le taux de succès de la fructification a varié en fonction des clones de zéro à un maximum de 5 - 10 % (Priyadarshan et Clément-Demange, 2004 ; Clément-Demange *et al.*, 2007). Les résultats observés sont similaires à ceux obtenus par Legnate et Clément-Demange (1990) qui ont montré que les clones de la «série PB» avaient un taux moyen de succès à la pollinisation de 6 % alors que celui des clones AVROS 2037 et GT 1 était de 1 et 2 %. Une étude réalisée par Nouy et Nicolas (1985) a montré également que les clones GT 1 et AVROS 2037 ont généralement un taux de nouaison inférieur à celui des clones PB 5/51 et PB 235. Ces différences clonales de la fertilité sont donc des caractéristiques génétiques. Les effets femelles mis en évidence au niveau de la fertilité des clones sont similaires aux résultats de Kenneth *et al.* (2007). Ces auteurs ont montré au niveau de la fructification de l'hévéa, un effet génétique maternel

(cytoplasmique), ainsi qu'une prédominance de la variance de l'Aptitude Générale à la Combinaison, par rapport à celle de l'Aptitude Spécifique à la Combinaison. Ces résultats indiquent que la fructification se transmet selon un mode additif. Les clones PB 5/51 et PB 260 ont eu des taux de nouaison élevés. Pourtant, seul le clone PB 260 a un taux de maintien de fruits élevé, alors que pour le clone PB 5/51, ce taux a été relativement plus faible. Ce résultat montre que les clones qui ont eu un taux de nouaison élevé perdent parfois plus de fruits que ceux qui ont un faible taux de nouaison. Ceci montre donc une régulation de la fructification. En effet, uniquement 25 % des fleurs femelles forment des fruits, et seulement 25 % de ces fruits atteignent la maturité (Clément-Demange *et al.* 2007). Au niveau du caféier, les ovaires renferment 2 ovules séparés dans 2 carpelles et la fécondation des 2 ovules est nécessaire à la formation d'un fruit normal contenant 2 graines pleines (Coulibaly, 2002). Au niveau de l'hévéa, la fructification nécessite la fertilisation préalable des 3 ovules de la graine (Sedgley et Attanayake, 1988). Le géniteur femelle PB 235, qui est en général un clone bon grainier, a donné, après croisement avec les parents mâles PR 107 et RRIM 703, des taux de nouaison et de réussite à la pollinisation comparables (< à 5 %) à ceux des clones mauvais grainiers. Cependant, en pollinisation manuelle de l'hévéa, aucun effet lié au géniteur mâle n'a été mis en évidence (Légnaté et Clément-Demange, 1991). Par contre, en pollinisation naturelle, on note une influence des géniteurs sauvages mâles, à travers leur contribution paternelle, qui semble être une caractéristique génotypique (Lidah *et al.*, 2006 ; Lidah *et al.*, 2007). Cette influence mâle est liée à des différences clonales significatives de la germination du pollen (Vranken, 1981). Au niveau de la pollinisation manuelle, Leconte (1984) ainsi que Sedgley et Attanayake (1988) ont montré qu'il n'existe aucune différence de croissance des tubes polliniques entre différents clones et entre les fleurs ayant subi une auto ou une allo pollinisation. Cela indique que la faible fructification et le faible taux de succès à la pollinisation après une auto pollinisation ne sont pas dus à une incompatibilité entre le pollen et le stigmate. Les contrôles prézygotiques et postzygotiques exercés par les mêmes allèles d'incompatibilité et/ou les effets de la dépression hybride dus à une accumulation de *loci* homozygotes dans l'embryon semblent être les raisons de la faible fructification après une

autopollinisation. Selon Leconte (1984), la majorité des fleurs pollinisées qui n'évoluent pas en fruits sont éliminées par abscission dans un délai de 15 jours après la pollinisation. Ainsi, chez le clone PB 235, ce sont environ 80 % des fleurs qui sont éliminées au cours de cette période. Notre étude confirme ce résultat en montrant que pour le clone PB235 croisé avec huit partenaires mâles, le taux moyen de nouaison est égal à 11, 23 %. Ce taux représente le pourcentage de fleurs qui sont maintenues sur l'arbre de la pollinisation à la nouaison. Ceci indique que le pourcentage moyen de fleurs qui chutent de la pollinisation à la nouaison est de 88,77 %. Selon Clément-Demange *et al.* (2007) la chute des fruits est observée 80 jours après la pollinisation. Nouy et Nicolas (1985) ont indiqué également qu'une seconde perte de fruit peut se produire de la nouaison à la récolte des graines. Hamzah *et al.* (2002) ont montré que chez le clone bon grainier PB 5/51, les fleurs femelles favorisent relativement la croissance des tubes polliniques. Cela indique que les pistils jouent un rôle important dans le succès de la fructification en permettant une bonne croissance des tubes polliniques jusqu'à l'ovule. Concernant les coefficients de variation (CV) associés au taux de nouaison des clones AVROS 2037 et GT 1, il existe de grandes différences selon le clone utilisé comme mâle en croisement sur AVROS 2037 et inversement de faibles différences entre les clones mâles croisés sur GT 1. Cependant, ces CV reflètent parfois des variations dues à des effets de milieu.

CONCLUSION

Cette étude a permis de mieux comprendre la faiblesse de la fertilité femelle chez l'hévéa en caractérisant cette fertilité en fonction des taux de nouaison, de perte de fruits après nouaison et de succès de la pollinisation. Elle a montré que ce dernier est conditionné principalement par les deux premiers taux, mais surtout par la nouaison. Pour l'étude des facteurs limitants de la fécondation (problèmes pré-zygotiques ou post-zygotiques), les résultats de cette étude permettent de choisir les clones PB 5/51 et AVROS 2037 qui sont contrastés pour la nouaison et la perte des fruits après la nouaison.

REFERENCES

- Besse P. 1993. Identification des clones cultivés et analyse de la diversité génétique chez *Hevea brasiliensis* par RFLP. Thèse, Université Paris XI, Orsay, France, pp 120.
- Bradley M. V. and J. C. Crane. 1975. Abnormalities in seed development in *Pistacia vera* L. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100 : 461 - 464.
- Clément-Demange A., Priyadarshan P. M., Thi Thuy H. T., P. Venkatachalam. 2007. Hevea Rubber Breeding and Genetics. Plant Breeding Reviews. 29 : 177 - 283.
- Coulibaly I. 2002. Hérité de l'autogamie et restauration de la fertilité chez les hybrides interspécifiques entre *Coffea canephora* Pierre et *C. heterocalyx* Stoffelen. Thèse. Ecole Nat. Sup. Agro. Montpellier (France), 83 - 108.
- Dagnélie P. 1965. A propos de quelques méthodes de comparaison multiple de moyennes. Biom. 6 : 115 - 124.
- Dagnélie P. 1986. Théorie et méthodes statistiques. Gembloux (Belgique) : In : J Duculotet. Dagnélie P. (Eds). Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux : pp 361 - 375.
- Elden M. 1971. Le climat. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, 50 : 77 - 108.
- Hamzah S., Chan J. L. and H. Y. Yeang. 2002. Pollen tube growth and fruit set success in *Hevea brasiliensis* hand-pollination influenced by the choice of clone and female flower. Euphytica. 123 : 1 - 8.
- Harihar G. and H. Y. Yeang. 1984. The low fruit set that follows conventional hand pollination in *Hevea brasiliensis* : insufficiency of pollen as cause. J. Rubb Res. Inst. Malaysia 32 : 20 - 29.
- Herbert Y. et P. Vincourt. 1985. Mesures de la divergence génétique. 2. Distances calculées sur des critères biométriques. In : Lefort-Buson et de Vienne D. (Eds.). : Les distances génétiques. Estimations et applications. INRA, Paris (France), pp 23 - 37
- Keli J. Z., Obouayeba S. et B. Zehi. 1992. Influence de quelques systèmes vivriers sur le comportement des jeunes hévéas en

- basse Côte d'Ivoire. Systèmes Agricoles en Afrique, 2 (1) : 41 - 48.
- Kenneth O, Frederick A. and N. Ibrahim. 2007. Diallel analysis of fruit set in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Genet. Mol. Biol. 30 : 428 - 430.
- Lançon J. 1987. Comportement de seize caractéristiques agronomiques ou technologiques chez deux croisements diallèles comprenant des variétés africaines et américaines de cotonnier upland. Coton et Fibres Tropicales 42 : 255 - 266.
- Legnate H. et A. Clément-Demange. 1990. Incidence du faible taux de réussite de la pollinisation artificielle sur l'amélioration génétique de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Commun Sympo IRRDB. Kunming, Chine : pp 1 - 12.
- Legnate H. et A. Clément-Demange. 1991. Pollinisation manuelle et amélioration génétique de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Caoutchouc et Plastiques 136 : 99 - 103.
- Leconte A. 1984. La reproduction sexuée de l'*Hevea brasiliensis*. Caoutchoucs et Plastiques 637 - 638 : 71 - 74.
- Lidah Y. J., N'Guetta A. S - P., Mondeil F., Clément-Demange A. et G. M. Rodier. 2006. Etude par les isozymes de la pollinisation libre de génotypes d'hévéas sauvages (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) en verger à graines. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 10 : 209 - 216
- Lidah J. Y., N'Guetta A. S - P., Rodier G. M., Clément-Demange A. et M. Séguin. 2007. Participation mâle à la pollinisation de génotypes Sauvages d'hévéa. Agronomie africaine 19 (2) : 137 - 150.
- Nouy B. et D. Nicolas. 1985. Dix années de pollinisation artificielle de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Rev. Gen. Caoutch. Plast. 12 (656) : 12 - 25.
- Obouayeba S. 1991. Cultures vivrières intercalaires des jeunes hévéas en milieu villageois du sud-est de la Côte d'Ivoire. Systèmes Agricoles en Afrique, 1 (2) : 21 - 32.
- Olapade E. O. and K. O. Omokhafa. 1990. Hand pollination of *Hevea brasiliensis* in Nigeria (1984 - 1990) ; comparison with open pollinated field data. J. Rubb. Res. Inst. Sri Lanka 70 : 27 - 34.
- Priyadarshan P. M. and A. Clément-Demange. 2004. Breeding Hevea Rubber : Formal and molecular genetics. Advances in Genetics 52 : 51 - 115.
- Sedgley M., D. P. S. T. G. Attanayake. 1988. The breeding system of rubber *Hevea brasiliensis* : an evaluation of controlled hand pollination methods. Euphytica 39 : 83 - 91.
- Shapiro S. S. and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for Normality (complete samples). Biometrika 52 (4) : 591 - 611.
- Sokal R. R. and F. J. Rohlf. 1995. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. Third edition. Freeman, New York : pp 409 - 422.
- Stephenson A. G. 1981. Flower and fruit abortion : proximate causes and Ultimate function. Ann. Rev. Ecol. Systems 12 : 253 - 279.
- Sunderasan E., Wickneswari R., Aziz M. Z. A., H. Y. Yeang. 1994. Incidence of self and cross pollination in two *Hevea brasiliensis* clones. J. nat. Rubb. Res. 9 : 253 - 257.
- Vranken E. J. M. 1981. Quelques aspects de la biologie florale et la conservation du pollen d'*Hevea brasiliensis*. Rapport de recherche. Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc (France) : pp 15 - 20.