

**étude de la pollinisation des caféiers cultivés  
sur la côte est malgache  
par marquage du pollen au phosphore  
et au soufre radioactifs**

A. CHARRIER

La fécondation croisée est la règle chez *C. canephora* et les hybrides "congesta" cultivés en basse altitude à Madagascar.

Dans les plantations âgées de 6 ans, nous avons étudié la dispersion du pollen d'arbres marqués au 32 P ou au 35 S en fonction des agents pollinisateurs et des conditions climatiques pendant les grosses floraisons.

Une méthode de marquage des caféiers a été mise au point. Elle permet de retrouver de façon significative 37 grains de pollen marqué au 32 P.

Les résultats sur la dispersion dans l'espace du pollen radio-actif ont été regroupés comme suit :

1. Pour une floraison par temps pluvieux, le pollen mouillé émis par la plante marquée est arrêté par les arbres directement à son contact et distants de 3 et 4,25 mètres.
2. Pour une floraison par beau temps et en l'absence d'insectes pollinisateurs, la quantité de pollen transporté par le vent décroît rapidement jusqu'à 6 mètres, reste faible de 9 à 18 mètres et devient nulle au-delà.
3. Pour une floraison par beau temps et avec une intense activité des abeilles, la répartition spatiale du pollen est très hétérogène. Il a été retrouvé jusqu'à 42 mètres de l'arbre marqué.

Les conséquences de ces résultats sont discutées du point de vue :

- . de la répartition des clones dans une plantation pour assurer des conditions optimales de pollinisation;
- . de l'origine des forts pourcentages de grains "caracoli" dans le café produit à Madagascar;
- . de l'isolement des champs semenciers bi ou polyclonaux;
- . des possibilités d'interpollinisation des arbres constituant les peuplements spontanés de caféiers malgaches;
- . de l'utilisation de la fécondation libre dans le schéma de sélection.

## 1 - INTRODUCTION

Les caféiers cultivés sur la Côte Est malgache (*C. canephora* et hybrides *conqusta*) sont autostériles. L'un des facteurs primordiaux de leur productivité est donc l'interpollinisation correcte des différents arbres appartenant à des clones compatibles.

Compte-tenu des données de la bibliographie sur la dispersion du pollen et des qualités agronomiques propres au matériel végétal sélectionné par l'IFCC., il était conseillé d'associer aux clones *conqusta* plastiques et productifs, des pollinisateurs de *C. canephora* (note technique IFCC., 1961; FOURY, 1962). Les clones HA. et HB. utilisés comme fond de plantation représentent les 2/3 et parfois plus des 3/4 des arbres des nouvelles caféières. Dans ces situations extrêmes, il apparaît que la faible production de certains arbres ou de certaines rangées des 2 clones dominants, qui sont interstériles, est liée à un défaut de pollinisation (SNODECK, 1968).

Les études expérimentales concernant la dispersion du pollen des caféiers et ses facteurs de variation sont rares. STOFFELS (1936) a recherché le pollen de *C. arabica* par piégeage sur des plaques enduites de glycérine et de blanc d'oeuf. Les résultats obtenus par cet auteur montrent que dans les conditions de la station de Mulunga (Rwanda) :

- . la grande masse du pollen tombe par gravité à l'intérieur de l'arbre en fleurs;
- . le transport du pollen par le vent est faible et ne dépasse pas 5 mètres.

A Madagascar, CHALMETTE (1967) a tenté le piégeage du pollen sur des plaques ondules de divers produits adhésifs. Il s'est avéré que cette technique était difficile à employer dans les conditions climatiques de la Côte-Est. Cependant, pour une petite floraison par temps pluvieux, du pollen a été retrouvé à 3 et 6 m. de la bordure d'arbres en fleurs. Par contre, CRAMER (cité par COSTE, 1955) a détecté du pollen jusqu'à 100 m de l'arbre pollinisateur.

Le mode de pollinisation des caféiers a été observé par divers auteurs. Pour CARVALHO et KRUG (1949), le rôle joué respectivement par le vent et les abeilles dans la dispersion du pollen de *C. arabica* varie considérablement au Brésil suivant les conditions du milieu. D'après CAPOI (1964), la dissémination du pollen dans les plantations de *C. canephora* en Côte d'Ivoire est essentiellement anémophile et accessoirement entomophile (abeilles et mélipones). Chez l'*excelsa*, en République Centrafricaine, DUBLIN (1960) a aussi noté l'intervention du vent et des insectes.

D'après ces résultats, il semble bien que les conditions de la pollinisation dans les caféières soient très variées et qu'il faille en particulier préciser les agents de dissémination du pollen et les conditions climatiques lors des floraisons. En outre, les techniques de recherche du pollen dispersé ne sont pas très satisfaisantes et sont inapplicables en plantation, compte-tenu du synchronisme de la floraison des caféiers.

L'ensemble de ces faits nous a conduit à analyser de façon approfondie, les conditions de la pollinisation des caféiers cultivés en basse altitude à Madagascar. Nous inspirant de travaux similaires sur *Medicago sativa* (DEMARLY, 1954), nous avons marqué le pollen d'un caféier par les radioisotopes et étudié sa répartition spatiale en fonction des agents pollinisateurs et des conditions climatiques pendant la floraison.

Après avoir explicité la méthodologie du marquage du pollen des caféiers par les radio-éléments, nous présenterons les résultats obtenus et leurs diverses implications pratiques.

## 2 - MATERIEL ET METHODES

### a - Matériel végétal et d'expérimentation

Cette étude a été réalisée à la Station principale du café d'Ilaka-Est (IFCC) au cours des périodes de floraison 1969 et 1970. Nous avons marqué au 32P et au 35S plusieurs caféiers situés au centre de parcelles d'essais comparatifs clonaux plantés en 1964. Les arbres appartenant à divers clones étaient répartis totalement au hasard, implantés à 3 x 3 m de distance et conduits à 4 tiges. Ils avaient atteint leur développement maximum et leurs ramifications plagiotropes étaient en contact. Ces caféiers de 3 à 4 m de hauteur formaient un ensemble végétal continu dans lequel la circulation de l'air et les possibilités de pénétration étaient restreintes. Ces plantations étaient protégées par de grands arbres d'ombrage (*Inga dulcis*) formant une strate végétale à 8 - 10 m du sol (photo 1).

PHOTO 1

Bordure de caféiers cultivés en fleurs protégés par un ombrage d'*Inga dulcis*



Les sources radio-actives utilisées nous ont été fournies par le Laboratoire de Radio-isotopes de Tananarive. De même, des matériels de manipulation, de contrôle et de détection de la radio-activité ont été mis à notre disposition. Les mesures d'activité ont été réalisées avec une chaîne de comptage électronique reliée à un compteur Geiger-Müller.

## b - Méthodologie du marquage du pollen des caféiers

Au cours des essais successifs, nous avons étudié :

- le moment, le mode et les doses d'application des radio-éléments;
- leur répartition dans la plante;
- l'activité des fleurs et tout spécialement du pollen.

### 1. DATE, TECHNIQUE ET DOSE D'APPLICATION DES SOURCES RADIO-ACTIVES

La période d'inoculation du radio-élément dans la plante tient compte des caractéristiques de la floraison des caféiers cultivés. Nous devons rappeler que les bourgeons floraux initiés se développent lentement et atteignent un état de latence appelé "pause florale", maintenu par une période de sécheresse. Cette dormance est levée par une pluie (PORTERES, 1946) qui entraîne la microsporogénèse dans les 36 à 40 heures et l'épanouissement des fleurs environ 7 jours plus tard. Pour obtenir un bon marquage du pollen, il semble a priori nécessaire d'inoculer le radio-élément dans l'arbre avant cette phase active qui conduit à la floraison.

En outre, nous observons chaque année 3 ou 4 floraisons importantes de Juillet à Octobre, mais à des dates variables. Nous apportons donc au début de cette période une dose de radio-élément qui doit être renouvelée périodiquement, compte-tenu de la décroissance de la radio-activité de l'élément utilisé.

La solution des radio-isotopes associés à un "entraîneur" (phosphate bipotassique pour la  $^{32}\text{P}$  et sulfate de sodium pour le  $^{25}\text{S}$ ) est injectée à la base du tronc du caféier. Nous n'avons noté aucun trouble physiologique chez les arbres marqués malgré l'importance des apports de radio-activité. Les différents marquages réalisés sont récapitulés dans le tableau 1.

TABLEAU 1  
MARQUAGES REALISES EN 1969 ET 1970 A ILAKA-EST

Essais	Numéro arbres	Sources radio-actives	Inoculations		Floraisons	
			Dates	Doses	Dates	Activité résiduelle
1	14 292 (DC8)	32 P	23.06.69	12 mCi	18.07.69	19 mCi
			10.07.69	23	04.08.69	2
2	13 482 (DC7)	35 S	10.07.69	62	04.09.69	40
					28.09.69	33
3	14 146 (DC8)	32 P	26.08.70	122	05.10.70	80
			30.09.70	80		

## 2. ACTIVITE DES BOURGEONS FLORAUX, DES ETAMINES ET DU POLLEN DES ARBRES MARQUES

Douze heures après l'inoculation de la solution radio-active, il est possible de repérer le radio-élément avec un compteur portatif dans le tronc et les branches les plus basses du caféier.

Nous avons étudié au cours du temps l'évolution de la radio-activité des bourgeons floraux du premier arbre marqué au 32 P (essai 1). Leurs activités individuelles sont très hétérogènes. Les résultats rapportés dans le tableau 2 nous indiquent que :

- les bourgeons floraux prélevés au milieu du caféier sont en moyenne 2,5 fois plus radio-actifs que ceux du sommet; cette situation semble se maintenir au cours du temps;
- la radio-activité moyenne des bourgeons floraux du sommet de l'arbre croît au cours de la première décade, passe par un maximum vers le quinzième jour et diminue ensuite; ce pic est moins marqué pour la zone apicale de l'arbre.

De même, l'activité relative des étamines des bourgeons floraux utilisés précédemment croît au cours de la première semaine pour atteindre un palier et reste comparable pour les 2 niveaux considérés sur l'arbre marqué.

TABEAU 2

EVOLUTION DE L'ACTIVITE MOYENNE DES BOURGEONS FLORAUX ET DE LEURS ETAMINES A COMPTER DU JOUR DU MARQUAGE (ESSAI 1)

Temps écoulé	Milieu arbre		Sommet arbre		B.f. sommet
	B.f. (1)	$\frac{Et.}{B.f.}$ (2)	B.f. (1)	$\frac{Et.}{B.f.}$ (2)	B.f. milieu
2 j	960		376	9 %	39 %
4	2 534	18 %	915	9	35
8	1 628	44	859	34	53
10	2 093	26	1 476	19	71
12	2 662	30	798	45	30
14	4 708	36	1 676	38	36
16	4 050	45	1 846	47	46
20			1 350		
22			854		
25			630		
27			872		

(1) *Activité des bourgeons floraux (B.f.) en coups/100 sec/1 cg.*

(2) *Rapport  $\frac{\text{activité des étamines}}{\text{activité des bourgeons floraux}} = \frac{Et.}{B.f.}$*

La radio-activité des étamines et du pollen des fleurs a été mesurée le jour de l'anthèse (tableau 3). Comme pour les bourgeons floraux, nous constatons une importante variabilité de l'activité des différentes fleurs prélevées sur un arbre marqué. La radio-activité moyenne du pollen d'une fleur représente le quart de l'activité des étamines dont il est extrait, mais cette dernière est fonction de la dose résiduelle et de la nature du radio-élément utilisé. Ainsi, le rayonnement émis par le 35 S étant peu pénétrant, l'activité enregistrée avec notre chaîne de comptage est faible par rapport à la dose initiale appliquée.

TABLEAU 3  
ACTIVITE MOYENNE DES ETAMINES ET DU POLLEN DES FLEURS  
(CCUPS/100 SEC/1 FLEUR)

Essais	Sources	Sources résiduelles	Activité étamines	Pollen: étamines
1	32-P	6 mCi	5 147 ± 1 990	23 %
2	35 S	45 mCi	1 587 ± 718	24 %
3	32 P	80 mCi	24 951 ± 19 437	-

Puisque nous nous proposons de retrouver le pollen radio-actif au cours de sa dispersion, la sensibilité de la méthode dépend du nombre minimum de grains de pollen marqués que l'on est capable de détecter de façon significative. Nous l'avons déterminée avec le pollen de l'arbre marqué au 32 P dans l'essai 3. Pour la floraison du 5 Octobre 1970, nous avons mis en évidence que 37 grains de pollen radio-actifs ont présenté une activité en 100 sec significativement supérieure à celle du bruit de fond de la chaîne de comptage. Le pollen étant émis et dispersé le plus souvent en amas de plusieurs dizaines de grains, il est donc aisé de le retrouver.

La synthèse des résultats précédents nous permet de dégager une méthodologie du marquage du pollen des caféiers. Le choix des sources radio-actives dépend de leurs caractéristiques (période, pénétrance du rayonnement) et de l'appareil de mesure utilisé. Pour notre part, nous avons préféré le 32 P du fait de sa facilité de détection. Compte-tenu de la décroissance rapide de sa radio-activité et de l'incertitude des dates de floraison, nous avons été amenés à réinoculer l'arbre radio-actif une fois par mois environ, avec des doses élevées (de l'ordre de 50 mCi), pendant la période d'expérimentation. Le marquage du pollen est à son optimum pour une inoculation datant de 10 à 15 jours avant la floraison.

### c - Etude de la dispersion du pollen marqué

Au cours des essais successifs, nous avons recherché le pollen radio-actif sur les stigmates des arbres en fleurs environnant la plante marquée et fleurissant le même jour. La floraison des caféiers d'une plantation est synchrone et s'étale sur 2 jours. Pendant cette période, nous avons prélevé 150 à 500 stigmates au hasard sur toutes les branches de chaque arbre en fleurs.

Etant donné qu'un caféier adulte porte 1 à 3.10<sup>4</sup> fleurs, les échantillons ne représentent que 1 à 5 % des fleurs épanouies. Des prélèvements de plus de 1 000 stigmates sur un seul arbre ont présenté des activités comparables ou même inférieures aux petits échantillons pris sur plusieurs caféiers occupant la même situation (Tableau 4). Celles-ci sont généralement très hétérogènes.

La quantité de pollen radio-actif diminuant avec la distance du caféier marqué, il paraît préférable d'augmenter la taille des échantillons et le nombre d'arbres prospectés à mesure que l'on s'en éloigne.

TABLEAU 4  
ACTIVITE DU POLLEN MARQUE AU 32 P EN FONCTION DU NOMBRE  
DE STIGMATES PRELEVES (FLORAISON DU 5 SEPTEMBRE 1969)

Distance (m.)	Nombre arbres	Nombre stigmates	Activité réelle pour 100 stigmates (chocs/300 sec)
4,25	{ 4	690	8
	} 1	1 300	6
6,5	{ 7	960	17
	} 1	1 350	5

La radio-activité des stigmates récoltés est mesurée au laboratoire sur matériel frais. Les temps de comptage sont d'autant plus longs que l'activité est plus faible (100 à 600 sec). Du fait de la moindre pénétrance du 35 S, l'un des prélèvements a été étudié au laboratoire des radio-isotopes, sur les stigmates séchés et avec un appareil plus sensible.

Seules les activités significativement supérieures au bruit de fond de la chaîne de comptage sont retenues. L'activité moyenne du pollen rapportée à 100 stigmates est calculée :

- . pour l'ensemble des caféiers placés à une même distance du centre de dispersion;
- . pour les arbres situés dans chaque anneau concentrique de 3 m de large.

Cette valeur est proportionnelle à la quantité de pollen radio-actif retrouvé et nous permet de tracer la courbe moyenne de dispersion du pollen dans l'espace.

### 3 - PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous avons regroupé les résultats obtenus sur la dispersion spatiale du pollen en fonction des facteurs climatiques et des agents pollinisateurs intervenant au cours des floraisons étudiées. Nous avons rencontré les situations suivantes :

- . floraison par beau temps avec ou sans insectes pollinisateurs (essentiellement *Apis mellifera*);
- . floraison par temps de pluie.

#### a - Pollinisation anémophile par beau temps

L'arbre marqué au 32 P dans l'essai 3 a fleuri les 4 et 5 Octobre 1970. Son activité résiduelle était très élevée et due pour une grande part à une inoculation récente de 32 P (80 mCi) qui n'a pu participer de façon optimale au marquage du pollen.

La floraison a eu lieu par un très beau temps chaud et sec, avec un fort vent d'alizé de l'Est. Contrairement aux observations habituelles par temps ensoleillé, les abeilles pollinisatrices étaient peu nombreuses. Celles-ci devaient avoir trouvé le même jour une autre source de pollen plus attractive. Le pollen radio-actif a été recherché jusqu'à 33 m de l'arbre marqué sur 48 caféiers, à raison de 300 à 450 stigmates par individus en fleurs.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 5 et la courbe moyenne de dispersion du pollen dans l'espace est représentée dans le graphique 1. La quantité de pollen décroît rapidement de 3 à 6 mètres, reste faible de 9 à 21 mètres et devient nulle au-delà. Pour les arbres situés entre 9 et 12 m, l'activité des stigmates est 20 fois moindre qu'à 3 m. En l'absence d'insectes pollinisateurs, le pollen transporté par le vent est donc arrêté en grande quantité par le feuillage dense de 2 rangées de caféiers. Un vent de direction constante pendant la floraison est un facteur d'hétérogénéité de la répartition spatiale du pollen. Nous avons observé que l'arbre "sous le vent" situé à 3 mètres de la plante marquée, présentait une activité de 353 chocs/100 stigmates/100 sec, c'est-à-dire de 7 fois supérieure à celle des autres arbres du même anneau concentrique.

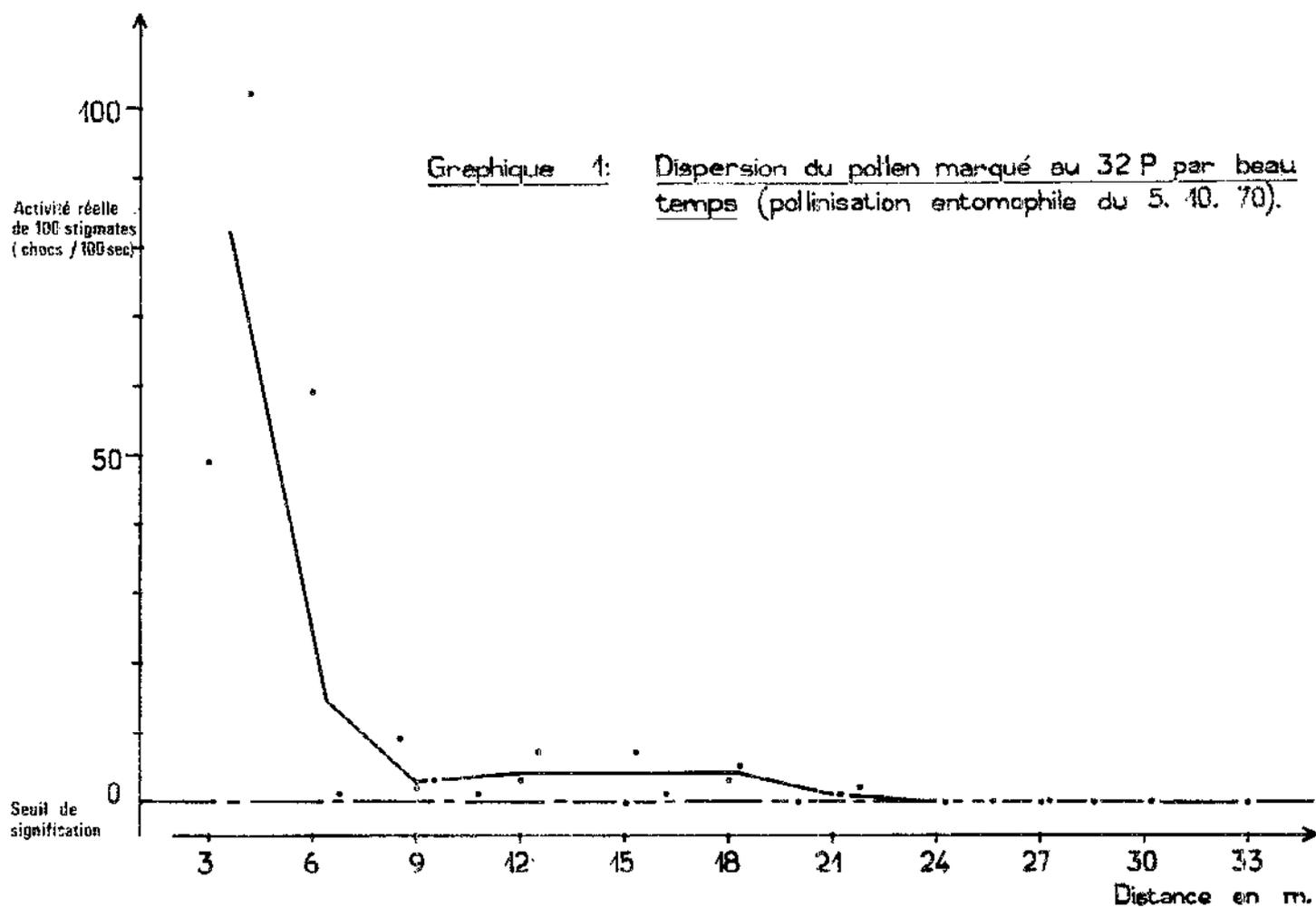
Remarquons que le nombre d'arbres prospectés au-delà de 20 m est insuffisant pour affirmer avec certitude l'absence totale de pollen marqué à ces distances.

TABLEAU 5

DISPERSION DANS L'ESPACE DU POLLEN MARQUE AU 32 P  
(FLORAISON DU 5 OCTOBRE 1970)

Distance en m	Nombre arbres	Nombre stigmates	Activité réelle en coups/100 st./100 sec.	
			Moyenne	Tranches 3 m
3	2	650	49	{ 82
4,25	4	1 200	102	
6	1	300	59	{ 15
6,7	3	950	1	
8,5	1	300	9	{ 3
9	3	800	2	
9,5	6	1 800	3	
10,6	3	1 050	1	{ 4
12	2	600	3	
12,5	3	950	7	
15	2	650	0	{ 4
15,3	2	900	7	
16,2	1	200	1	
18	3	900	3	{ 4
18,25	2	900	5	
20	1	450	0	{ 1
21,2	1	300	1	
21,8	1	300	2	
24,2	1	450	0	{ 0
25,6	1	100	0	{ 0
27	1	300	0	
27,2	1	450	0	
28,5	1	450	0,1	{ 0,1
30,2	1	650		
33	1	300	0,3	{ 0,3
Totaux	48	15 900	Bruit fond = $43 \pm 5$ coups/100 sec.	

Graphique 1: Dispersion du pollen marqué au  $^{32}\text{P}$  par beau temps (pollinisation entomophile du 5. 10. 70).



## b - Pollinisation entomophile et anémophile par beau temps

La floraison des 28 et 29 Septembre 1969 a eu lieu par très beau temps. La dispersion du pollen a été assurée par le vent et de nombreux insectes pollinisateurs, principalement des abeilles. Des stigmates ont été prélevés sur 62 arbres (150 à 300 stigmates par individu) jusqu'à 42 m du caféier marqué. Son activité résiduelle était de 33  $\mu$ Ci. Les résultats des comptages effectués par le laboratoire des radio-isotopes sont présentés dans le tableau 6 et le graphique 2.

Nous avons retrouvé du pollen radio-actif dans toute la zone prospectée sur 37 arbres. Son activité maximum relative était environ 40 fois moins élevée que celle de l'expérience précédente. Le 35 S semble donc moins intéressant que le 32 P pour étudier la dispersion du pollen de caféier.

Dans cet essai, la répartition spatiale du pollen présente un profil en dents de scie. Après une décroissance de la radio-activité vers 9 et 12 m, nous atteignons vers 15 m, une activité maximum supérieure à celle des arbres distants de 3 à 6 m du caféier marqué. Ensuite, la quantité de pollen retrouvé décroît avec la distance en passant par deux petits pics à 24 et 33 m. Nous devons rester prudents sur l'interprétation de la courbe au-delà de 28 m du fait des problèmes d'échantillonnage à grande distance.

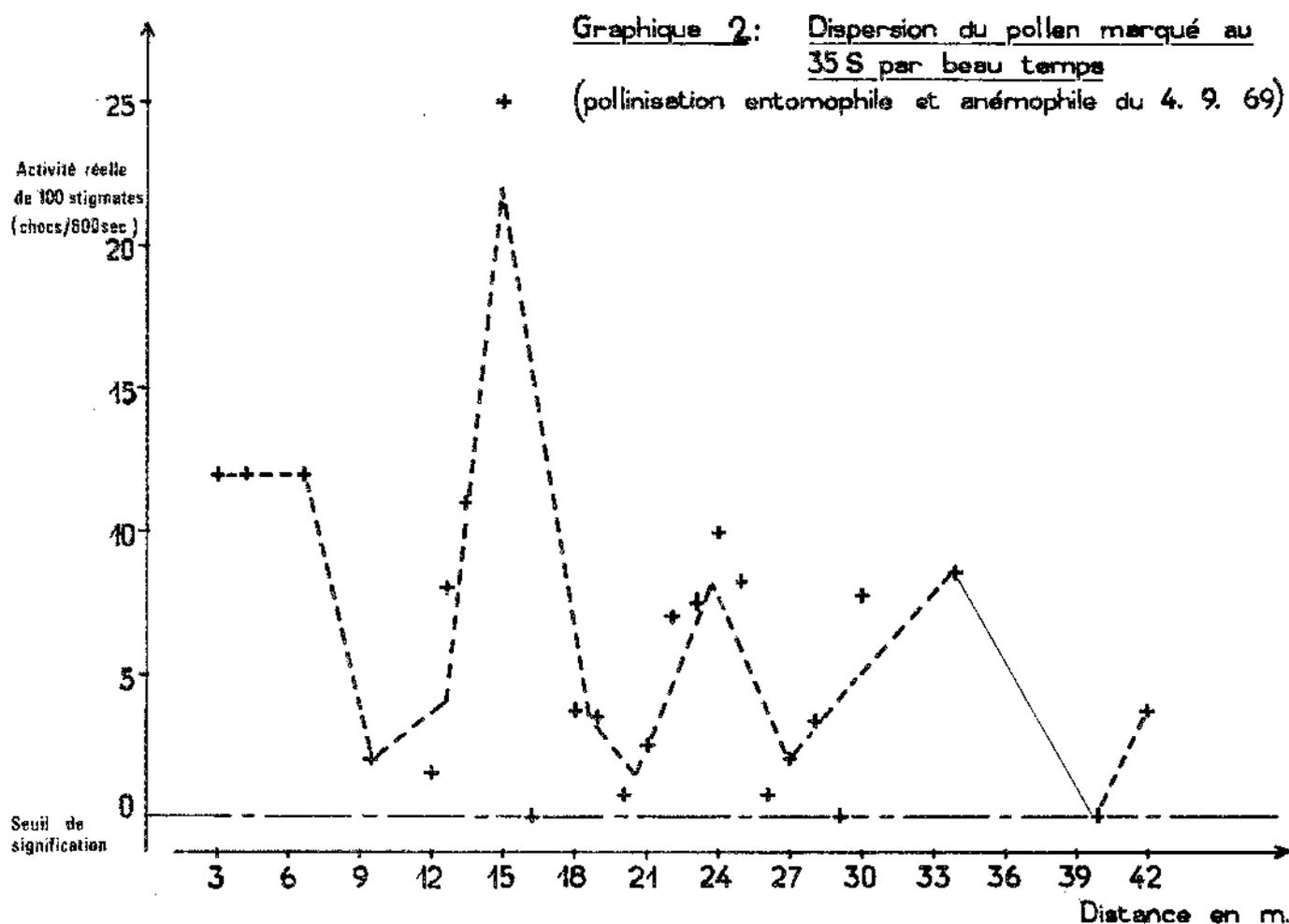


TABLEAU 6

DISPERSION DANS L'ESPACE DU POLLEN MARQUE AU 35 S  
(FLORAISON DES 28 ET 29 SEPTEMBRE 1969)

Distance (en m)	Nombre arbres	Nombre stigmates	Activité réelle en coups/600 sec.		
			Totale	100 stigmates	Tranches 3 m.
3	1	150	16	12,0	} 12,0
4,25	2	300	36	12,0	
6,70	2	300	35	11,7	} 11,7
9,50	3	450	9	2,0	} 2,0
12	3	1 300	18	1,4	} 3,6
12,8	1	150	12	8,0	
13,4	1	300	33	11,0	
15	5	1 350	335	24,8	} 22,4
16,2	1	150	0	0	
18	3	750	29	3,9	} 3,7
19	5	1 070	39	3,6	
20	2	590	4	0,7	} 3,7
21	4	920	24	2,6	
22	3	770	57	7,4	
23	3	600	46	7,7	} 8,4
24	1	300	30	10,0	
25	3	450	37	8,2	
26	2	450	4	0,8	} 2,4
27	4	900	18	2,0	
28	4	900	31	3,4	
29	1	180	0	0	} 5,9
30	3	600	46	7,7	
34	2	450	38	8,4	} 8,4
40	1	150	0	0	} 0
42	2	615	23	3,7	} 3,7
TOTAUX	62	14 145	Bruit fond = 221 ± 11 coups/600 sec.		

La répartition en dents de scie du pollen marqué et tout spécialement du pic des 10 - 15 m a été observée pour 3 floraisons différentes. Ce résultat pourrait s'expliquer par le comportement des abeilles pollinisatrices qui forment de nombreux essaims dans les arbres d'ombrage et de bordure des essais considérés. Nous n'avons malheureusement pas de données précises sur la biologie de la pollinisation par les *Apis* malgaches et sur l'importance éventuelle d'autres insectes pollinisateurs.

Si l'on compare les courbes de dispersion du pollen par beau temps avec et sans insectes des graphiques 1 et 2, les abeilles apparaissent comme un facteur d'hétérogénéité dans la répartition spatiale du pollen. En outre, elles semblent capables de transporter le pollen à plus grande distance que le vent vis-à-vis duquel les caféiers forment un écran efficace.

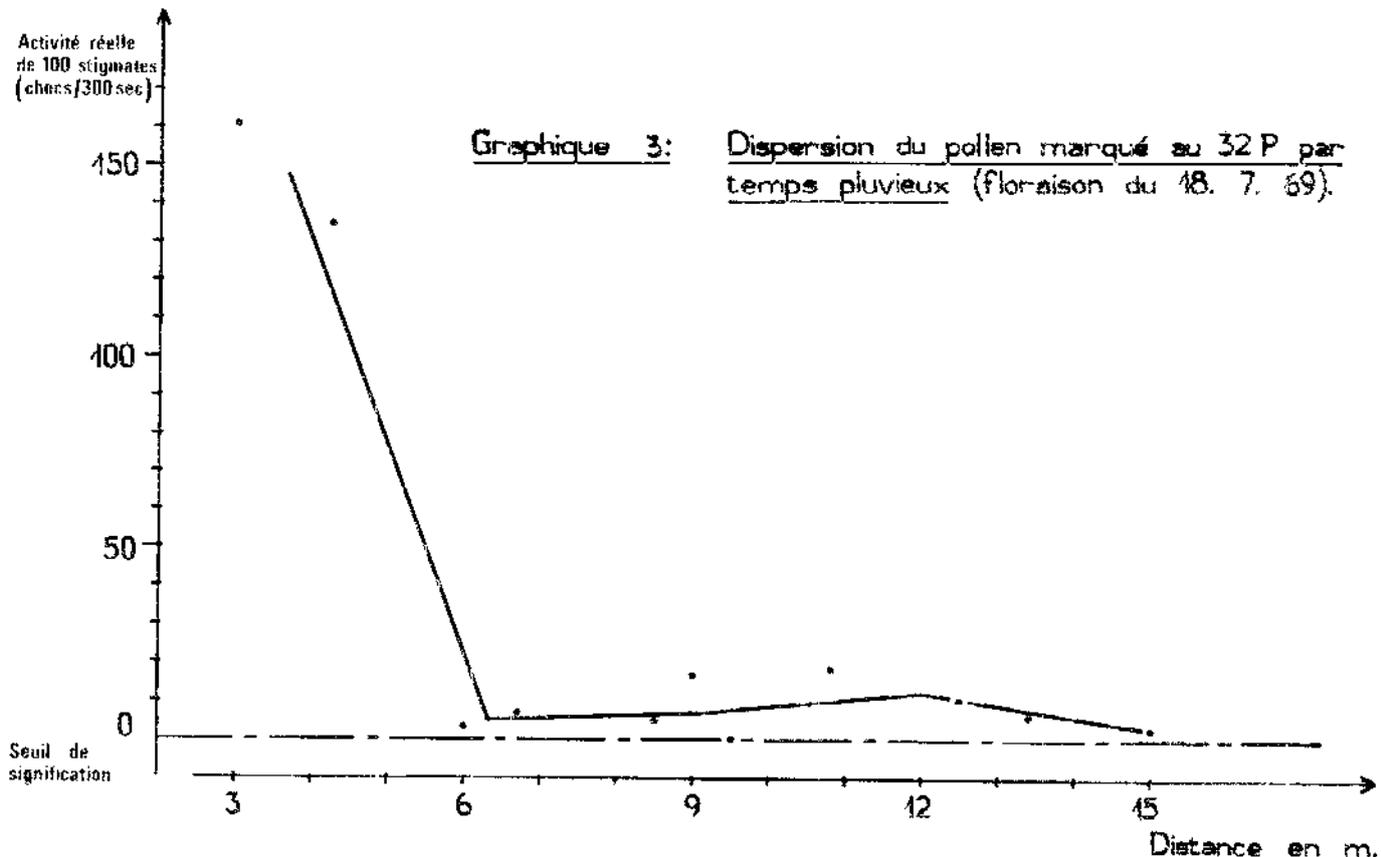
### c - Floraison par temps de pluie

L'arbre marqué au 32 P dans l'essai 1 a fleuri du 18 au 20 Juillet 1969; son activité résiduelle était de 19 mCi. Cette floraison a eu lieu par une pluie intermittente et un vent faible. Les insectes pollinisateurs étaient absents pendant les périodes de pluie et en nombre variable pendant les éclaircies.

TABLEAU 7  
DISPERSION DANS L'ESPACE DU POLLEN MARQUE AU 32 P  
(FLORAISON DU 18 AU 20 JUILLET 1969)

Distance (en m)	Nombre arbres	Nombre stigmates	Activité réelle en coups/300 sec.		
			Totale	100 stigmates	[branches 3 m.
3	4	325	539	161	} 149
4,25	4	375	505	135	
6	2	230	8	3	} 6
6,70	5	650	45	7	
8,5	3	385	19	5	} 5
9	3	205	34	17	
9,5	4	405	0	0	
10,8	6	460	88	19	} 12
12,5	7	635	65	10	
13,4	5	410	23	6	
15	6	415	12	3	} 3
TOTAUX	49	4 455	Bruit fond = 173 ± 23 coups/300 sec.		

Des stigmates ont été prélevés dans un rayon de 15 m sur 49 arbres. Leur activité moyenne en fonction de la distance est rapportée dans le tableau 7 et la courbe moyenne de dispersion du pollen dans l'espace est représentée dans le graphique 3. La variabilité des résultats est importante du fait de la faible taille des échantillons de cet essai (100 stigmates par arbre). Cependant, les différences d'activité en fonction de la distance sont très tranchées.



Du pollen radio-actif a été retrouvé de façon significative sur 1/3 des arbres prospectés et jusqu'à 15 m de l'arbre marqué. C'est à sa proximité immédiate (3 et 4,25 m), sur la couronne d'arbres directement à son contact, que nous avons retrouvé la plus grande quantité de pollen marqué. Pour les stigmates prélevés entre 6 et 15 m, l'activité moyenne du pollen est 10 à 30 fois moindre. Nous pouvons noter un léger ressaut vers 11 - 12 m qui peut s'expliquer, d'après les résultats précédents, par l'intervention de quelques insectes pollinisateurs pendant les éclaircies.

Pour une floraison par temps de pluie, le pollen mouillé et collant forme des amas qui tombent par gravité et sont peu transportés par le vent. La plus grande partie du pollen est arrêtée par les arbres en contact direct avec le pollinisateur. Les insectes sont à peu près inactifs dans ce cas.

## 5 - APPLICATIONS DES RESULTATS

Dans nos conditions d'expérimentation, nous avons mis en évidence 3 types de dispersion du pollen en liaison avec les conditions climatiques et les agents pollinisateurs (graphiques 1, 2 et 3). Nous allons maintenant analyser les implications de ces résultats sur la pollinisation des caféiers cultivés en plantation, sur le taux de grains caracolés, sur l'isolement pollinique des champs semenciers ou des peuplements spontanés et sur la structure génétique des descendance en fécondation libre.

### a - Répartition des clones en plantation

Comme nous l'avons vu, la tendance générale dans les plantations de caféiers sur la Côte Est malgache est d'associer aux hybrides *congusta* pris comme fond de plantation, des *C. canephora* pollinisateurs. Dans les cas où la proportion du clone dominant est trop élevé, les hybrides les plus éloignés des pollinisateurs peuvent se trouver à plus de 10 m de ceux-ci. D'après nos observations, le pollen retrouvé dans cette zone est essentiellement le fait des abeilles. Quand les conditions du milieu leurs sont défavorables, l'interpollinisation peut être insuffisante et entraîner les faibles productions observées.

Pour déterminer la meilleure répartition des clones en plantation, il convient d'appliquer les résultats obtenus sur la dispersion du pollen avec discernement, car, en dehors des facteurs analysés, elle est aussi affectée par :

- l'âge des arbres et leur développement végétatif;
- la distance de plantation et le mode de taille;
- la présence ou l'absence d'arbres d'ombrage;
- l'orientation et la pente de la parcelle.

Etant donné que dans une caféière adulte, le pollen n'est transporté en grande quantité qu'à faible distance (3 à 6 m) quand les conditions de dissémination sont défavorables (floraison par temps pluvieux ou en l'absence d'abeilles), nous conseillons de ne jamais associer plus de deux lignes d'un clone hybride pour une ligne de pollinisateurs variés. Idéalement, il faudrait que les plantations soient constituées par un mélange intime de clones productifs, intercompatibles et adaptés aux conditions pédo-climatiques (au minimum 5 clones sélectionnés en proportions équivalentes), de façon à créer une communauté de reproduction offrant des garanties optimales d'interpollinisation. Cette conception sera rapidement vulgarisable, l'IFCC étant à même de diffuser dans les prochaines années un nombre élevé de clones (rapport de synthèse 1970) dont l'adaptation régionale commence à être éprouvée et au sujet de laquelle nous possédons déjà des renseignements (SNOECK, 1968). Dans le cadre de ces plantations polyclonales, la notion de pollinisateurs est inadaptée. En effet, chaque clone sélectionné est représenté dans une proportion telle qu'il participe à la fois à la pollinisation et à la production.

Remarquons qu'il est actuellement possible d'améliorer l'interpollinisation dans les plantations trop riches en un clone hybride, par greffage en place de *C. canephora* sur les jeunes gourmands obtenus par recépage. Cette technique mise au point à Madagascar par VIANNEY-LIAUD et rapportée par SNOECK (1968) est déjà en application.

In outre, compte-tenu du rôle joué par les abeilles, il serait souhaitable de ne pas détruire tous les arbres d'ombrage ou de bordure porteurs d'essaims et d'installer éventuellement quelques ruchers dans les grandes plantations.

### b - Contribution à l'étude des grains caracolés

Le grain de café caracolé est une fève de forme arrondie due au développement d'un seul des 2 ovules du fruit. Chez les caféiers cultivés sur la Côte Est malgache, le pourcentage de grains caracolés est anormalement élevé par rapport aux cafés produits en Afrique. Il en résulte une hétérogénéité du café marchand obtenu préjudiciable en particulier du point de vue technologique.

Ce problème a été analysé par l'IFCC, dans la présentation de son programme de sélection (1963) et dans ses rapports annuels. Il en ressort que le pourcentage de grains caracolés varie de façon importante avec :

- l'année (pour le clone #0, variation de 31 à 66 % entre 1964 et 1969);
- l'époque de récolte (pour le clone BF.36, diminution de 42 à 22 % du début à la fin de la récolte);
- les génotypes (variation clonale de 20 à 70 %).

Ce dernier facteur est très important et l'on remarque que certains clones (CE.1187, K.43, hybrides *congesta*) présentent un taux de caracolés régulièrement élevé (40 % et plus). Du fait de l'origine hybride de ces caféiers, des anomalies génétiques et chromosomiques peuvent se produire au cours de leur mégasporogénèse et entraîner la formation d'une certaine proportion d'ovules non viables.

Ce facteur de stérilité partielle expliquerait la fréquence élevée de fécondation d'un seul des 2 ovules contenus dans les ovaires.

Quant aux facteurs de variation dans le temps du pourcentage de grains caracolés, les conditions climatiques défavorables à la pollinisation semblent en être la cause principale. Nous l'avons mise en évidence expérimentalement en étudiant le devenir de fleurs pollinisées par journées ensoleillées ou pluvieuses (Tableau 8).

TABLEAU 8  
RESULTATS DE FLORAISONS CONTROLÉES CHEZ LES CAFÉIERS CULTIVÉS

Pollinisation	Conditions climatiques	Nombre clones	Nombre fleurs	Pourcentage nouaison	Pourcentage caracolés
Naturelle	Beau temps	7	1 700	57	28
Naturelle	Temps pluvieux	3	4 380	11	79
Artificielle	Temps pluvieux	8	1 170	55	33

Par beau temps, les importantes quantités de pollen transportées par le vent et les abeilles assurent la fécondation de 57 % des fleurs et les fruits récoltés ne contiennent que 28 % de grains caracolis. Par contre, une forte pluviosité pendant la floraison entraîne la fécondation d'une faible proportion de fleurs et le plus souvent d'un seul des deux ovules. Des fécondations défectueuses ne sont pas dues à une action directe des conditions de milieu, mais à une pollinisation insuffisante. En effet, quand on réalise par temps de pluie des fécondations contrôlées protégées par un manchon de toile, leur réussite est équivalente à celle d'une floraison par beau temps. L'ensemble de nos observations permet de conclure que la dispersion du pollen par une journée pluvieuse est limitée et insuffisante pour assurer une bonne fécondation.

Cette situation est assez courante sur la Côte Est malgache où nous constatons une période pluvieuse aux mois de Juillet et d'Août à laquelle succède une petite saison sèche en Septembre-Octobre. A titre d'exemple, nous avons noté la fréquence de grosses floraisons intervenant par temps de pluie à Ilaka-Est en 1969 (2 fois sur 4) et en 1970 (2 fois sur 5).

L'ensemble de ces données rend parfaitement compte du fort pourcentage de grains caracolis contenus dans le café malgache et de sa variation avec l'année et l'époque de récolte de chaque clone. En conséquence, les caféiers tardifs qui fleurissent et produisent surtout pendant la petite saison sèche contiennent généralement moins de grains caracolis et permettent un usinage de café par voie sèche dans de bonnes conditions.

### c - Communautés de reproduction isolées

Dans le programme IFCC de sélection des caféiers cultivés allogames (1963), il est prévu d'utiliser comme semences sélectionnées les descendances de deux ou de plusieurs géniteurs choisis. Ceux-ci sont associés dans des parcelles isolées efficacement vis-à-vis de toute source de pollen étranger. Cette protection est actuellement obtenue par une barrière forestière artificielle de 50 m de largeur.

D'après nos résultats sur la dispersion du pollen, il semble que la protection adoptée actuellement pour les parcelles de production de semences soit largement suffisante.

Un écran très dense de 25 m de large serait tout aussi efficace vis-vis de la pollinisation anémophile, l'action des abeilles paraissant difficilement contrôlable.

Les peuplements naturels de caféiers sylvestres malgaches constituent un cas particulièrement intéressant de communauté de reproduction isolée. Les échanges génétiques internes chez ces espèces allogames (CHARRIER, 1969) sont liés aux possibilités d'interpollinisation entre individus. Celles-ci dépendent d'une part, de la structure propre du peuplement (nombre et répartition spatiale des individus participant à la reproduction), d'autre part, des conditions et des facteurs de la pollinisation. Notre étude sur la dispersion du pollen dans une plantation de caféiers cultivés n'est pas directement transposable aux peuplements spontanés, mais elle nous permet cependant de mieux saisir les facteurs susceptibles d'influer sur la pollinisation et, par voie de conséquence, sur la structure génétique de ces peuplements.

## d - Variation génotypique des descendance de caféiers en fécondation libre

On sait que les espèces de caféiers cultivés allogames sont constituées d'individus fortement hétérozygotes et que les meilleurs clones ne donnent pas nécessairement une descendance de valeur. Le choix des géniteurs intéressants pour les croisements ultérieurs passe donc par l'analyse de leur aptitude générale et spécifique à la combinaison.

Dans le programme de sélection IFCC (1963), cette aptitude générale est estimée par la valeur moyenne de la descendance en fécondation libre du géniteur considéré. Le pollen intervenant doit, par hypothèse, présenter une grande variabilité génétique et en l'occurrence, celle de l'ensemble des clones soumis à l'étude.

Il semble que cette hypothèse soit biaisée par les conditions de pollinisation. En effet, il est apparu que la plus grande partie du pollen d'un arbre n'est transportée qu'à faible distance. Les gamètes mâles participant à la fécondation libre d'un individu proviennent essentiellement des arbres qui l'entourent, à l'exception des pollinisations à longue distance dues aux abeilles. La variabilité pollinique intervenant vis-à-vis des différents géniteurs considérés risque donc d'être restreinte et particulière, c'est-à-dire de ne pas présenter la même composition vis-à-vis de chaque femelle étudiée. Il semblerait préférable de recourir à un dispositif expérimental qui assurerait un meilleur contrôle du pollen, pour étudier leur aptitude générale à la combinaison ("poly-cross" ou "top-cross").

## 5 - CONCLUSION

Du fait de la divergence des données bibliographiques sur la dispersion du pollen et de l'observation de fécondations défectueuses dans certaines plantations, nous avons étudié la pollinisation des caféiers allogames cultivés sur la Côte Est malgache.

Nous nous sommes adressés aux propriétés de marquage et de détection des radio-éléments pour analyser la répartition spatiale du pollen. Son marquage au  $^{32}\text{P}$  s'est avéré d'un emploi aisé dans les conditions de plantation et très sensible par rapport aux systèmes de piégeage du pollen par plusieurs auteurs.

Nous avons étudié la dispersion du pollen d'un caféier radio-actif situé au centre d'une parcelle polyclonale constituée d'arbres ayant atteint leur plein développement et protégés par de grands arbres d'ombrage. Nous avons observé 3 types de répartition spatiale du pollen en fonction des facteurs climatiques et des agents pollinisateurs. Par beau temps, le pollen véhiculé par le vent est en grande partie arrêté par les 2 premières rangées de caféiers (3 et 6 m). Par contre, si la pollinisation est en même temps le fait d'abeilles besogneuses, le pollen est transporté à de plus grandes distances et se répartit de façon très hétérogène (activité maximum à 10 à 15 m). Enfin, pour une floraison par temps de pluie, le pollen mouillé ne dépasse pas l'écran d'arbres en contact direct avec le pollinisateur.

Ces résultats nous permettent de préciser la meilleure répartition des caféiers cultivés en plantation. Compte-tenu de leurs caractéristiques agronomiques, nous conseillons de ne jamais associer plus de 2 lignes d'un clone

hybride pour une ligne de pollinisateurs variés. Il serait souhaitable que les caféières soient constituées par un mélange intime de plusieurs clones productifs et intercompatibles.

Nous avons démontré que les fortes proportions de grains caracolés contenus dans le café marchand malgache sont liées à une pollinisation défectueuse des caféiers fleurissant en Juillet-Août par temps de pluie.

## 6 - REMERCIEMENTS

Il m'est particulièrement agréable de remercier Messieurs DELORME, MOUTONNET et DUPOY, respectivement Directeur, Chef du Service radio-agronomie et électronicien du Laboratoire des Radio-isotopes de Tananarive pour leur aide matérielle (radio-éléments, appareillages, mesures d'activités) et tout spécialement pour leurs conseils et leur amicale coopération qui ont permis la réalisation de cette étude.

Je tiens à associer à ces remerciements Mademoiselle COLLOT, du service de documentation centrale de l'IFCC (PARIS), pour ses recherches bibliographiques sur ce sujet et Monsieur RAZAFINDRAKOTO du laboratoire de Botanique de l'ORSTOM (Tananarive), pour la réalisation des graphiques.

Enfin, j'exprime à tous ceux qui ont collaboré à l'exécution de ce travail à Ilaka-Est ma plus vive gratitude.

## BIBLIOGRAPHIE

- CAPOT J. - 1964 : La pollinisation artificielle des caféiers allogames et son rôle dans leur amélioration; son application et ses résultats en Côte d'Ivoire. *Café, Cacao, Thé*, VIII, 2, 75 - 88.
- CARVALHO A. et KRUG C.A. : Agentes de polinização da flôr de cafeeiro 1949 (*C. arabica* L.). *Bragantia*, 9, 11 - 24.
- CHALMETTE J.P. - 1967 : Compte-rendu d'un essai de détermination des distances de pollinisation en plantation de caféiers allogames (*C. canephora*). Rapport IFCC. Ilaka-Est, Madagascar, 3 p. dact.
- CHARRIER A. - 1969 : Biologie florale et hybridation interspécifique des *Mascarocoffea*. Rapport URSTOM-IFCC, 17 p. dactylo.
- COSTE R. - 1955 : Les caféiers et les cafés dans le monde. Tome I : Les caféiers Ed. LAROSE, pp. 44-45.
- DEMARLY Y. - 1954 : Observations sur la pollinisation de la luzerne. (*Medicago sativa*). *Conf. Inter. Utilisation Energie atomique*, 12, 231-233.
- DUBLIN P. 1960 : Biologie florale du *Coffea dewevrei* de WILD race *excelsa* A. CHEV. Floraison, pollinisation, fécondation. *Agro. Trop.* XV, 2, 189-212.
- FOURY C. - 1962 : Contribution à l'étude des hybrides *C. canephora* x *C. congensis* et inverses. Deux belles sélections malgaches hybride A et hybride B. Rapport IFCC. Madagascar, 23 pages, dactylographié.
- I.F.C.C. : Note au sujet de la fécondation dans les plantations clonales de *C. canephora*, 1961, 3 p. ronéo.
- I.F.C.C. : Les principes de la sélection des caféiers canépharoides et libero-excelsoïdes. *Café, Cacao, Thé*, Bulletin n° 5, Févr. 1963, 48 p.
- I.F.C.C. : Rapports annuels 1964 à 1969 et rapport de synthèse 1970.
- FURIÈRES R. - 1946 : Action de l'eau après une période sèche sur le déclenchement de la floraison chez *C. arabica* L. *L'Agronomie tropicale*, 3 - 4, 148-158.
- SNOECK J. - 1968 : La rénovation de la caféiculture malgache à partir de clones sélectionnés. *Café, Cacao, Thé*, XII, 3, 223-235.

STOFFELS E. - 1936

: la sélection du caféier Arabica à la Station de  
MULUNGU (Premières communications) *INEAC*, série  
scientifique n° 11, 41 p.