

# VARIATION DE LA TENEUR EN CAFÉINE DANS LE GENRE *COFFEA*

A. CHARRIER, J. BERTHAUD (\*)

Opération conjointe ORSTOM-IFCC

## INTRODUCTION

L'action physiologique du café sur l'organisme est en partie attribuée à sa teneur en caféine. De ce fait, cette caractéristique prend une importance croissante pour les cafés commercialisés et l'on consomme de plus en plus de cafés décaféinés. Les sélectionneurs de caféiers sont ainsi amenés à rechercher des cafés contenant naturellement peu ou pas de caféine.

On sait depuis longtemps que la teneur en caféine est très variable dans le genre *Coffea*. Certaines espèces sont même totalement dépourvues de cet alcaloïde. Les autres espèces expriment à ce point de vue un grand polymorphisme ; certaines sont réputées riches et d'autres pauvres en caféine. En réalité, jusqu'à une période très récente, on ignorait le déterminisme de ce polymorphisme intra et interspécifique. Dans l'un ou l'autre cas, il s'agit de savoir si la teneur en caféine dépend surtout du génotype ou au contraire est largement influencée par le milieu.

Les informations que nous nous proposons de rapporter intéressent un certain nombre d'espèces et ont été acquises dans des stations variées à Madagascar, en Côte d'Ivoire et au Cameroun. Elles concernent de nombreux dosages réalisés sur les graines des caféiers cultivés ou des pieds sauvages et sont parfois un peu disparates ; elles résument également un certain nombre d'expériences mises en place spécialement pour résoudre certains aspects du problème posé.

L'ensemble de ces informations est maintenant suffisant pour qu'il soit indispensable d'en tenir compte dans un programme d'amélioration.

Après avoir décrit l'ensemble du matériel végétal utilisé et les techniques d'étude, nous envisagerons successivement l'analyse de la variabilité génétique de la teneur en caféine et l'hérédité de ce caractère, puis l'action du milieu sur cette teneur. On pourra ainsi en conclusion voir comment le sélectionneur peut utiliser ces données.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Matériel végétal

Les caféiers qui ont fait l'objet de dosages dans les différentes stations de recherches ont les origines suivantes :

#### *Coffea arabica*

Cette espèce est représentée par des lignées sélectionnées provenant d'Amérique centrale et australe,

(\*) Adresses actuelles :

A. CHARRIER, ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 Paris, France.

J. BERTHAUD, ORSTOM, B. P. 793, Man, Côte d'Ivoire.

du Kenya, du Rwanda, etc... où elles assurent la plus grande part de la production, et par soixante-sept descendances récoltées par Guillaumet et Hallé (1967) au cours d'une prospection du centre d'origine de *C. arabica* (la forêt montagnarde du sud-ouest de l'Ethiopie). Des collections ont été implantées dans des régions tropicales africaines de basse altitude écologiquement peu favorables (à Madagascar : Ilaka-Est et Kianjavato ; en Côte d'Ivoire : Bingerville, Abengourou et Divo ; au Cameroun : Nkoemvone), et dans des zones d'altitude satisfaisante (Mont Tonkoui en Côte d'Ivoire et Foubot au Cameroun). Le matériel éthiopien d'origine sauvage et sub-spontanée est de loin le plus abondamment représenté. Il s'agit, suivant les cas, de

17 FEV. 1976  
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° B 8003 Bio. S. F. M. S.

descendances d'un seul pied en fécondation libre (autogamie prépondérante) ou d'un mélange de caféiers d'une même station.

### *Coffea canephora*

Les souches de *C. canephora* en collection à Divo (Côte d'Ivoire) ont différentes provenances. D'une part, cette espèce existe à l'état spontané dans ce pays (zone forestière et forêts galeries en bordure de savane) : ce sont en général des types Kouilou qui ont servi à installer des plantations ; on peut citer les populations Kouilou de Touba, des Tos, du Bandama et le Petit Indénié. D'autre part, des *C. canephora* de type Robusta, sélectionnés au Zaïre, ont été introduits entre 1920 et 1940. Ces populations Robusta INÉAC ont fait l'objet d'un nouveau choix en Côte d'Ivoire dans les stations agricoles de Gagnoa et de Man.

À Madagascar, l'espèce a été introduite au début de ce siècle un nombre limité de fois et en quantité restreinte. Ces populations allogames de départ, dans lesquelles existaient des types Kouilou et Robusta, ont fait l'objet de multiplications en fécondation libre sur la Côte Est malgache. Il est maintenant difficile de rattacher aux types originaux les quelque six cent quatre-vingts souches rassemblées à Ilaka-Est et retenues lors d'une vaste prospection des plantations locales entre 1954 et 1960.

Notons aussi que la duplication chromosomique de *C. canephora* a été réalisée sur graines (Capot, 1968) et par traitements localisés de bourgeons, à la colchicine (Berthou, 1975).

### *Mascarocoffea*

Les caféiers sylvestres de Madagascar, de l'archipel des Comores et des îles Mascareignes comprennent une cinquantaine d'espèces décrites qui sont représentées en collection à Kianjavato (Madagascar) par quelques dizaines de caféiers chacune.

### Autres caféiers en collection

L'historique et la nature des hybrides *Congusta* cultivés sur la Côte Est malgache ont été rapportés dans un précédent article (Charrier, 1972).

Les libério-excelsoïdes sont représentés à Madagascar et en Côte d'Ivoire par diverses origines (*C. neo-arnoldiana*, *C. abeokutae*, Gros Indénié, *C. excelsa*). On a aussi analysé les échantillons récoltés dans les populations naturelles de République Centrafricaine au cours d'une mission de prospection de Berthaud et Guillaumet (1975).

Le matériel *C. stenophylla* en collection en Côte d'Ivoire est peu diversifié.

Une population de *C. eugenioides* à base génétique restreinte et provenant d'un jardin botanique de Nairobi (Kenya) a été introduite à Kianjavato.

Quelques représentants des *Paracoffea* asiatique (*P. bengalensis*), africain (*P. ebracteolata*) et malgache (*P. humbertii*) sont aussi présents à Kianjavato.

Le matériel végétal résultant de croisements interspécifiques et d'hybridations dirigées intraspécifiques ne sera présenté qu'au moment de leur étude.

## Échantillonnage

Dans les différentes stations, chaque chercheur travaillant pour le programme conjoint de recherches ORSTOM-IFCC choisit les caféiers analysés pour leur type de comportement (vigueur, productivité...). Cette dispersion de l'échantillonnage est aggravée par l'hétérogénéité des prélèvements. Par exemple, à Madagascar, les échantillons de 10 g de café vert pour le dosage de la teneur en caféine, proviennent aussi bien d'une seule récolte à maturité que de la totalité de la production de l'année correspondant à un même génotype. Celui-ci est représenté selon les cas soit par un caféier unique (essais de descendances de *C. arabica* et de *C. canephora*), soit par le mélange de pieds constituant le même clone (vingt-quatre caféiers dans les essais comparatifs clonaux et cinq dans les collections de *C. canephora*). De plus, le nombre d'individus étudiés pour une combinaison donnée est aussi variable (un à quinze caféiers par origine de *C. arabica* ; vingt à trente individus par descendance de *C. canephora*).

Afin d'harmoniser l'échantillonnage et d'améliorer la validité des comparaisons, il convient de déterminer combien de répétitions sont nécessaires pour obtenir une précision voulue sur les résultats avec des risques choisis. Ce problème a été analysé en Côte d'Ivoire sur :

— un essai de six origines de *C. arabica* représentées par plus de dix caféiers par origine ;

— un essai de cinq croisements dirigés de *C. canephora* à raison de vingt-trois individus en moyenne par descendance.

A partir des abaques de Pearson et Hartley (1966), avec la variable

$$\Phi = \frac{\Delta}{\sigma} \sqrt{\frac{J}{2I}}$$

où  $\Delta$  est la différence à mettre en évidence avec un risque donné,

$\sigma$  est l'écart-type des distributions,

J est le nombre de répétitions par origine,

I est le nombre d'origines (ou de croisements),

et en prenant pour estimation de  $\sigma$  l'écart-type résiduel de l'analyse de la variance à un critère de classification des deux essais mentionnés, on aboutit

aux conclusions suivantes : pour mettre en évidence des différences entre origines de l'ordre de  $1 \sigma$ , il faut cinquante répétitions et si les différences recherchées sont de  $2 \sigma$ , il suffit de quinze répétitions au seuil de probabilité  $\alpha = 0,01$  et avec un risque de deuxième espèce  $1 - \beta = 0,05$ .

## Techniques d'analyse

La majeure partie des déterminations des teneurs en caféine du café a été réalisée par le laboratoire de physiologie de l'ORSTOM à Bondy par la méthode de Kum-Tatt modifiée (Ornano *et al.*, 1967), sur 1 g

de poudre de café vert. Cette technique rapide de dosage employée quand les teneurs en caféine sont élevées entraîne des écarts sur une mesure inférieurs à 0,10 % MS.

Les dosages plus particuliers sont l'œuvre du laboratoire de chimie de l'IFCC, maintenant à Montpellier, et font appel à des méthodes mieux adaptées aux cas étudiés. Par exemple, la chromatographie en couche mince est utilisée pour vérifier l'absence de traces de caféine chez les *Mascarocoffea* (Ornano *et al.*, 1965). Cette chromatographie par élution sur résine échangeuse de cations permet le dosage de faibles quantités de caféine sur des micro-échantillons.

# VARIATION GLOBALE DE LA TENEUR EN CAFÉINE DANS LE GENRE *COFFEA*

Après avoir rappelé les valeurs trouvées par divers auteurs, nous donnerons les résultats globaux enregistrés pour le matériel végétal étudié.

## Données bibliographiques

Quoique les méthodes de dosage et d'échantillonnage différent, on peut se faire une idée de la variation intra et interspécifique de la teneur en caféine au travers des ouvrages synthétiques de Wilboux (1956), Wellman (1961) et Coste (1955) :

- *C. eugenioides* : 0,29 à 0,51 % MS
- *C. arabica* : 0,7 à 2,2 % MS
- *C. congensis* : 0,98 à 1,36 % MS
- Libério-excelsoïdes : 0,97 à 1,81 % MS
- *C. canephora* : 1,5 à 3,0 % MS

Des résultats de dosages particuliers sont rapportés par divers chercheurs. Ainsi, Sylvain (1967) cite des teneurs extrêmes pour *C. arabica* var. *laurina* (0,62 % MS), pour un *C. arabica* cultivé aux îles du Cap Vert (0,29 % MS) et pour un clone MB. 69 de *C. canephora* (3,21 % MS). Dans le cas du Gros Indénié de Côte d'Ivoire, Portères (1937) indique des taux de 1 à 2 %. D'après Lopes (1971, 1974), la teneur en caféine de *C. racemosa* en culture au Mozambique varie avec les formes sauvages d'origine (*C. swynertonii* : 0,80 % MS ; *C. ibo* : 1,20 % MS) et avec les régions de culture (Montepuez et Mutuali : 0,96 % MS ; Quelimane : 0,58 % MS ; Inhambane : 0,87 % MS). Les valeurs moyennes des teneurs en caféine des cafés d'Angola sont de 1,09 % MS pour *C. arabica* (écart-type = 0,11 % MS) et varient de 1,71 à 2,10 % MS pour *C. canephora* suivant les régions de culture (écart-type

maximum : 0,31 % MS) (Esteves et Oliveira, 1973).

La mise en évidence de l'absence de caféine dans les graines de *Mascarocoffea* est due au chimiste G. Bertrand (1901), par l'analyse de *C. humblotiana*. Ce résultat a été étendu progressivement à une vingtaine d'espèces de caféiers sylvestres de Madagascar suivant des méthodes de dosage de plus en plus raffinées (Bertrand, 1905 ; Rossi, 1933 ; Ornano *et al.*, 1965 ; Chassevent *et al.*, 1974). Toutefois une exception subsiste : dans l'espèce *C. mauritiana* originaire de l'île de la Réunion, Bertrand (1902) a signalé la présence de traces de caféine (0,07 % MS), qui a été confirmée par Chassevent *et al.* (1974).

La teneur en caféine est aussi très faible ou nulle chez les caféiers du groupe des *Paracoffea* asiatiques, *P. bengalensis* et *P. travancorensis* (Vishveshwara, 1971), et chez le faux caféier *Polyspheria congesta* (Chassevent *et al.*, 1974).

## Résultats obtenus

Les dosages effectués depuis 1968 sont regroupés par espèce sans tenir compte de l'influence des facteurs du milieu.

### *Coffea arabica*

La répartition de la population étudiée à Madagascar est gaussienne pour le caractère « teneur en caféine » (graphique 1) ; elle se caractérise par sa moyenne  $\bar{x} = 1,16 \pm 0,03$  % MS et par son écart-type  $s = 0,18$  % MS.

Les teneurs en caféine enregistrées dans les diverses collections sont les suivantes :

— Bingerville (144 échantillons) .....	0,84 à 1,52 % MS	$\bar{x}$ = 1,22 % MS
— Abengourou (76 échantillons) .....	0,72 à 1,57 % MS	
— Divo + Man (383 génotypes) .....	0,77 à 1,90 % MS	$\bar{x}$ = 1,20 % MS
— Ilaka-Est (130 génotypes) .....	0,58 à 1,69 % MS	$\bar{x}$ = 1,16 % MS
— Fombot (134 génotypes) .....	0,90 à 1,89 % MS	$\bar{x}$ = 1,35 % MS

Sachant qu'elles sont constituées presque exclusivement des mêmes origines génétiques, on remarque que les conditions régionales influent peu sur l'étendue de variation du caractère et sur la teneur moyenne en caféine, à l'exception de Fombot au Cameroun.

On note aussi une bonne stabilité du classement des différentes origines génétiques indépendamment des lieux de culture des collections : parmi les descendance éthiopiennes, on trouve des teneurs faibles (1 % MS) pour les numéros 15, 17 et 61, moyennes (1,2-1,3 % MS) pour les numéros 10, 11 c, 32 b, 35 b, 35 c, 35 d, 36 b, 37, 38 et 59, fortes (1,5 % MS) pour les numéros 6, 19 et 47. Les cultivars sélectionnés dans les pays producteurs de *C. arabica* (Bourbon, Caturra, Mundo Novo) présentent une faible variabilité et de basses teneurs en caféine (0,8 à 1,2 % MS). Elles sont identiques aux valeurs trouvées en Amérique australe (Carvalho *et al.*, 1965). Les taux les plus bas que nous avons trouvés (0,6-0,7 % MS) correspondent aux variétés cultivées à l'île de la Réunion (Bourbon pointu, variété Leroy). Ces constatations montrent bien que l'action des génotypes est prépondérante. Vu la stabilité des classements quel que soit le lieu de culture, l'interaction génotype-milieu est probablement faible.

### *Coffea canephora*

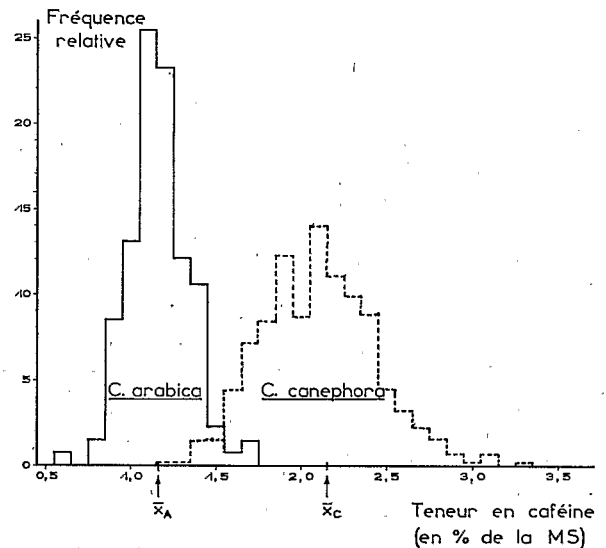
Les deux populations étudiées suivent la loi normale et ont les caractéristiques suivantes :

- Divo (163 clones) :  $\bar{x}$  = 2,51 % MS  
                                    s = 0,41 % MS
- Ilaka-Est (681 clones) :  $\bar{x}$  = 2,14 % MS  
                                    s = 0,32 % MS

Le matériel végétal introduit en Côte d'Ivoire étant différent de celui introduit à Madagascar, on ne peut tirer aucune conclusion sur l'écart enregistré. Toutefois, il convient de noter que l'étendue de variation de la teneur en caféine de l'espèce *C. canephora* (1,16 à 3,27 % MS à Madagascar) est plus importante que celle de *C. arabica* et qu'elle la chevauche partiellement (graphique 1).

Le regroupement des caféiers en Côte d'Ivoire suivant leurs origines permet de constituer quatre sous-ensembles représentés par quinze à vingt-deux clones :

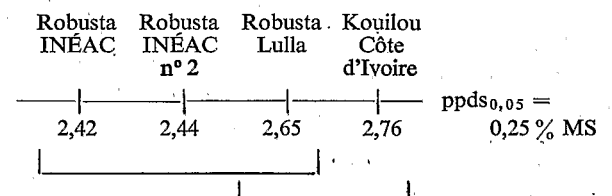
- Robusta INÉAC, population n° 2, introduite en 1933,
- Robusta INÉAC, sans indication d'introduction,



Graphique 1. — Variation intraspécifique de la teneur en caféine de *C. arabica* et *C. canephora*

- Robusta Lulla, introduit en 1935,
- Kouilou de Côte d'Ivoire (sans indication de population).

Les différences entre provenances sont significatives au seuil de probabilité  $\alpha = 0,05$ . Les moyennes des trois origines de Robusta ne sont pas différentes ; par contre, les Robusta INÉAC sont significativement séparés des Kouilou comme nous le voyons dans le diagramme suivant :



L'influence des origines de *C. canephora* sur la teneur en caféine démontre, comme dans le cas de *C. racemosa* du Mozambique (Lopes, 1971), l'importance du facteur génétique.

### *Coffea eugenioides*

La population introduite à Madagascar comprend une cinquantaine de caféiers d'une origine restreinte. Leurs teneurs en caféine varient de 0,23 à 0,51 % MS. La population a pour moyenne  $\bar{x}$  = 0,38 % MS et pour écart-type  $s$  = 0,06 % MS.

## Libério-excelsoïdes

Les valeurs extrêmes observées pour les dix représentants des collections étudiées sont 1,17 et 1,56 % MS. Pour les cinquante-sept échantillons de *C. dewevrei* provenant des prospections de République Centrafricaine, la teneur en caféine varie de 0,52 à 1,8 % MS et la moyenne est de 1,18 % MS.

## *Coffea stenophylla*

La teneur moyenne chez cette espèce se situe à 1,7 % MS.

## Mascarocoffea

Les espèces qui fructifient pour la première fois sont progressivement soumises à l'analyse pour confirmer l'absence de caféine dans l'ensemble du groupe.

## Paracoffea

Comme les *Mascarocoffea*, les *Paracoffea* d'origine africaine (*P. ebracteolata*), malgache (*P. humbertii*) et asiatique (*P. bengalensis*) ne contiennent pas de caféine ; ce résultat a été confirmé par chromatographie en couche mince.

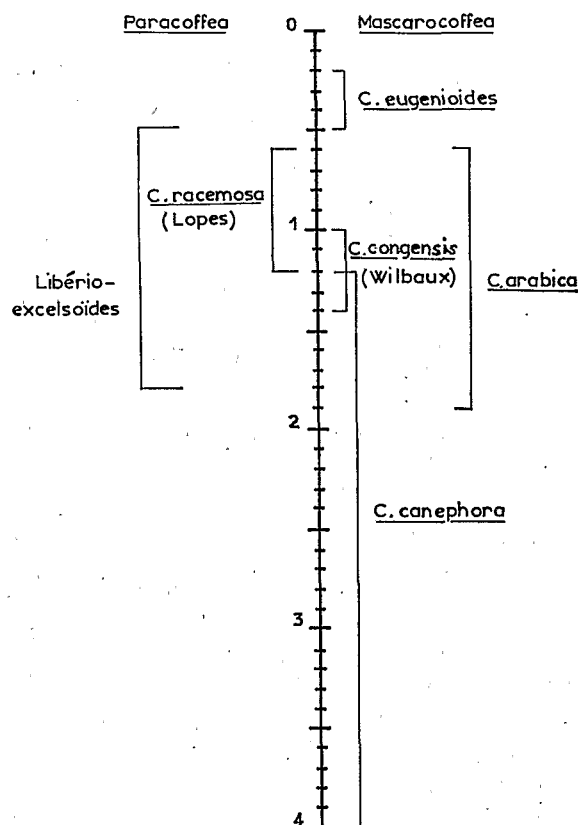
En conclusion, la variation globale de la teneur en caféine chez les *Coffea* d'origine africaine est continue avec des recouvrements importants entre espèces (graphique 2). La coupure avec les *Paracoffea* de tous les pays et les *Mascarocoffea* reste à préciser :

- la présence de traces de caféine chez l'espèce réunionnaise *C. mauritiana* est-elle l'exception ?
- l'absence de caféine est-elle générale chez toutes les espèces de *Paracoffea* ?

Si la réponse à ces deux interrogations est affirmative, seul le groupe des *Coffea* africains contiendrait de la caféine. La situation des caféiers vis-à-vis de cet alcaloïde pourrait se résumer ainsi :

Genre	Afrique	Madagascar	Asie
<i>Paracoffea</i> .....	0	0	0
<i>Coffea</i> .....	+	0	

Dans le cadre de l'hypothèse d'une séquence phylogénétique *Paracoffea* → *Coffea* (Leroy, 1968), l'apparition de la caféine aurait donc eu lieu au cours de l'évolution des caféiers uniquement en Afrique.



Graphique 2. — Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea* (en % MS)

## COMPORTEMENT HÉRÉDITAIRE DE LA TENEUR EN CAFÉINE

Nous avons signalé à plusieurs reprises l'existence d'une variation de la teneur en caféine d'origine génétique que nous allons maintenant préciser. On peut encore la mettre en évidence par la comparaison de la variance de la population *C. canephora* avec une estimation de la variance due au milieu (variation de la souche témoin HB dans l'ensemble des essais à Ilaka-Est) :

$$F = \frac{S_c^2}{S_{HB}^2} = 4,03 > F_{0,01} = 3,95.$$

## Variabilité génotypique

Elle est étudiée par la comparaison de génotypes d'une même station placés dans des conditions d'essai homogène.

## *Coffea arabica*

Les teneurs moyennes en caféine des différentes origines éthiopiennes représentées par au moins cinq caféiers tirés au hasard sont toujours signifi-

cativement différentes. Dans les analyses de la variance, les écarts-types résiduels sont de l'ordre de 0,11 % MS alors que l'étendue de variation due aux origines atteint 1 %. La condition d'homogénéité des variances des descendance n'est pas toujours remplie à cause de l'échantillonnage (nombre de répétitions insuffisant) et du mode de récolte des graines en Ethiopie. Cette variabilité peut également être liée à l'hétérogénéité génétique intra-origine. La synthèse des comparaisons des origines éthiopiennes cultivées en plusieurs lieux est présentée dans le tableau I. Elle permet d'établir leur valeur génotypique et d'affiner leur classement.

TABLEAU I

Comparaison des origines de *Coffea arabica* éthiopiens

1) *Tonkouï* (1973) : six origines, douze à vingt arbres par origine

F = 114,12\*\*\* s résiduel = 0,09 % MS

17	15	36b	59	34	6
0,97	1,11	1,23	1,28	1,37	1,61

ppds<sub>0,05</sub> = 0,07 % MS

2) *Foumbot* (1972) : six origines, quatre à neuf arbres par origine

F = 6,82\*\*\* s résiduel = 0,12 % MS

35c/35d

29b	37	38	32b
1,01	1,23	1,30	1,35

ppds<sub>0,05</sub> = 0,14 % MS

3) *Bingerville* (1971) : sept origines, quatre à huit arbres par origine

F = 11,98\*\*\* s résiduel = 0,09 % MS

61	15	39	38	11c	10	6
0,99	1,04	1,07	1,17	1,19	1,22	1,39

ppds<sub>0,05</sub> = 0,10 % MS

4) *Ilaka-Est* (1971) : six origines, sept caféiers par origine

F = 26,04\*\*\* s résiduel = 0,105 % MS

15	17	37	35b	19
0,90	0,94	1,14	1,20	1,46

ppds<sub>0,05</sub> = 0,13 % MS

### *Coffea canephora*

Les souches de Madagascar sont comparées en prenant pour répétitions les dosages de trois années successives. L'action des génotypes mise en évidence par l'analyse de variance est très hautement significative ; l'écart-type résiduel est dans ce cas de 0,21 % MS.

Les souches étudiées se classent comme indiqué dans le schéma ci-dessous :

23.1.57	K26	12.6.57	8.2.58	32.2.57	K15	K27	BE45	K28	K43
1,59	1,63	1,99	2,09	2,19	2,21	2,25	2,30	2,38	2,58

ppds<sub>0,05</sub> = 0,31 % MS

Notons aussi l'influence du niveau de ploïdie sur la teneur en caféine : elle est analysée par la comparaison de onze couples isogéniques diploïde-tétraploïde de *C. canephora*. Les moyennes des séries de génotypes 2 x et 4 x sont identiques :

$$\bar{x}_{(2x)} = 2,68 \% \text{ MS} \quad s = 0,35 \% \text{ MS}$$

$$\bar{x}_{(4x)} = 2,70 \% \text{ MS} \quad s = 0,25 \% \text{ MS}$$

En l'absence de répétitions des dosages, l'interaction génotype-niveau de ploïdie ne peut être éprouvée. Capot (1972) avait tiré la même conclusion de la comparaison de populations de caféiers diploïdes (quatre-vingt-quatre souches,  $\bar{x} = 2,57 \% \text{ MS}$ , variation = 1,61 à 3,41 % MS) et autotétraploïdes (quatre-vingt-deux souches ;  $\bar{x} = 2,30 \% \text{ MS}$  ; variation = 1,68 à 3,72 % MS). L'analyse que nous en donnons situe mieux l'absence d'influence du niveau de ploïdie sur la teneur en caféine de *C. canephora*.

### Transmission du caractère

La faible teneur en caféine des *C. arabica* var. *laurina* et *mokka* est contrôlée, pour Carvalho *et al.*, (1965), par la paire d'allèles récessifs **1r1r**, à effet pléiotrope. Cette action génique est modulée par la présence des allèles dominants **Mg** (var. *maragotype*) et **Mo** (var. *mokka*).

Pour notre part, nous avons remarqué que la teneur en caféine des descendance en fécondation libre des *C. arabica* éthiopiens est peu variable. Pour des effectifs de quinze à vingt caféiers par descendance, les écarts-types (0,06 à 0,13 % MS) sont du même ordre de grandeur que la fluctuation engendrée par le milieu. On a affaire chez cette espèce à des lignées tendant vers l'homozygotie et dans lesquelles la variation génotypique est limitée.

Nous avons surtout analysé la transmission de ce caractère dans les descendance de *C. canephora* issues soit de croisements contrôlés, soit de fécondation libre et représentées par vingt à trente individus. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau II.

Les croisements dirigés font intervenir des géniteurs à teneurs faibles ou fortes suivant les trois combinaisons possibles. L'analyse de la variance met en évidence un effet significatif des croisements. Le classement des moyennes des descendance respecte assez bien celui des géniteurs entrant dans chaque

TABLEAU II

Transmission de la teneur en caféine chez *Coffea canephora*

## a) Descendances issues de croisements contrôlés (Divo)

Croisements	% caféine des parents			% caféine descendances	
	♀	♂	Moy.	Moy.	Ecart-type
H 23 = KM 29 × 107	3,0	2,6	2,8	2,62	0,31
H 68 = 149 × 200 ...	2,7	2,0	2,35	2,37	0,37
H 69 = 149 × 222 ...	2,7	2,0	2,35	2,56	0,40
H 51 = 143 × 43 ...	2,3	2,3	2,3	2,54	0,28
H 57 = A 06 × 200 ...	2,2	2,0	2,1	2,22	0,50

## b) Descendances issues de fécondation libre (Ilaka-Est)

Parent ♀	% caféine des parents			% caféine descendances	
	♀	Popu- lation ♂	Moy.	Moy.	Ecart- type
29-9-59 .....	1,87		2,01	2,04	0,28
K 26 .....	1,65	2,15	1,90	1,88	0,26
23-1-57 .....	1,42		1,79	1,81	0,26

combinaison. Toutefois, la variabilité phénotypique de chaque descendance est importante (écart-type de 0,30 à 0,50 % MS) et du même ordre de grandeur que dans la population globale de *C. canephora*. Aussi est-il possible de retrouver dans la descendance d'un seul croisement une variabilité aussi grande que celle qui est actuellement connue. C'est le cas de la descendance H 57 pour laquelle on a obtenu les valeurs extrêmes 1,4 à 3,8 % MS. Cette situation s'explique par le déterminisme polygénique de la teneur en caféine et par l'hétérozygotie des géniteurs de l'espèce allogame *C. canephora*.

Ces résultats sont confirmés pour les descendances issues de la fécondation libre de souches à faibles teneurs en caféine. La teneur moyenne des descendances est intermédiaire entre le géniteur femelle connu et la population de *C. canephora* (tableau II). Le classement des descendances suit celui du parent

femelle. La variabilité des descendances est aussi du même ordre de grandeur que celle de la population globale (écart-type de 0,30 % MS).

La transmission héréditaire de la teneur en caféine ressort aussi des taux enregistrés chez plusieurs catégories d'hybrides interspécifiques assez fertiles. Il convient d'être prudent avec ce type de matériel végétal chez lequel l'expression des caractères dépend de son comportement méiotique, des limitations de la recombinaison qui en résultent et des modifications de régulation qu'il ne faut pas sous-estimer.

Les hybrides *Congusta* de première et deuxième génération entre *C. congensis* et *C. canephora* ont une méiose diploïde et une fertilité normale (Charrier, 1972). La teneur en caféine de la population d'hybrides (quatre-vingt-trois souches en collection à Ilaka-Est) varie de 1,20 à 2,46 % MS et a pour caractéristiques  $\bar{x} = 1,83$  % MS,  $s = 0,23$  % MS.

Elle se situe donc entre celles des populations parentales de *C. congensis* (0,96 à 1,36 % MS d'après Wilboux, 1956) et de *C. canephora* (1,20 à 3,3 % MS à Madagascar).

De même, l'étude de six hybrides  $F_1$  *C. canephora* × *C. eugenioides* (Louarn, 1975) indique que leurs teneurs en caféine (1,2 à 1,5 % MS) sont intermédiaires entre celles des populations parentales *C. eugenioides* (0,2 à 0,5 % MS) et *C. canephora*.

Enfin, d'après Capot (1972), les hybrides interspécifiques « Arabusta » étudiés (*C. canephora* autotétraploïdes × *C. arabica*) ont une teneur en caféine comprise entre 1,72 et 2,28 % MS. La transmission de ce caractère a été précisée pour la descendance contrôlée des géniteurs *C. canephora* T 32 (2,31 % MS) × *C. arabica* Tana (0,95 % MS), dont la teneur moyenne ( $\bar{x} = 2,02$  % MS) est plus proche de celle du parent Robusta. Ce résultat a été confirmé à Man pour la descendance de la souche *C. canephora* tétraploïde 200 T (2,2 % MS) fécondée librement par divers *C. arabica* : pour vingt-huit descendants, la moyenne de la teneur en caféine est de 1,80 % MS et l'écart-type  $s = 0,17$  % MS.

## ACTION DES FACTEURS EXTERNES SUR LA TENEUR EN CAFÉINE

Sous le titre « Effet milieu », nous rapportons les résultats concernant un même clone, placé dans des conditions hétérogènes ou non ; nous nous intéresserons plus spécialement ensuite à certains facteurs faciles à contrôler comme la date et l'année de récolte, la nutrition, la technologie, le greffage.

### Effet « milieu »

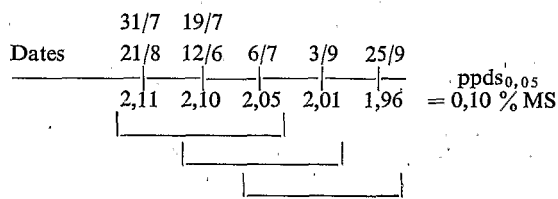
L'action du milieu est d'abord envisagée dans deux essais comparatifs de clones de caféiers cultivés sur la Côte Est malgache et implantés à Ilaka-Est. Les deux souches étudiées (H 865 et K 43) ont le même âge et sont récoltées à maturité, tous les

TABLEAU III

Action du milieu et de la date de récolte sur la teneur en caféine

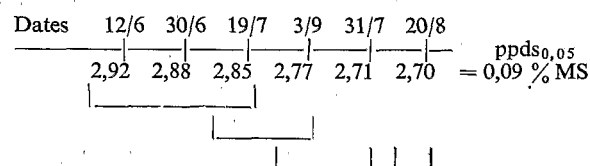
a) Souche H 865

Source de variation	SCE	d. l.	CM	F
Pied .....	0,7207	9	0,0801	6,97***
Date .....	0,2220	6	0,0370	3,22**
Résiduelle ....	0,6206	54	0,0115	
Totale .....	1,5633	69		



b) Souche K 43

Source de variation	SCE	d. l.	CM	F
Pied .....	0,3456	9	0,0384	4,09***
Date .....	0,4033	5	0,0807	8,59***
Résiduelle ....	0,4210	45	0,0094	
Totale .....	1,1699	59		



quinze jours, à raison de dix caféiers par clone répartis au hasard dans l'essai. La teneur en caféine d'un échantillon de café vert est dosée par « pied » et par « date de récolte ». L'analyse de la variance appliquée aux deux essais révèle un effet « pied » très hautement significatif (tableau III). L'étendue de variation maximale de la teneur en caféine des dix répétitions atteint 0,35 % MS pour la souche H 865 et 0,22 % MS pour K 43. Elle est attribuable à l'action du milieu pris dans un sens large (hétérogénéité des sols d'alluvions, compétition intercaféiers et avec les arbres d'ombrage...). En conséquence, la meilleure estimation de la teneur en caféine d'un génotype est la moyenne de plusieurs répétitions, alors que les prélèvements proviennent habituellement d'un seul représentant de la souche étudiée ou du mélange des répétitions.

Dans un sens plus général, l'effet « milieu » se rapportant aux influences pédo-climatiques régionales a été analysé entre les collections de *C. arabica* éthiopiens d'Ilaka-Est et du Tonkoui, sur trois origines identiques représentées par quinze arbres. Il s'y superpose les influences de l'âge des individus récoltés et des conditions climatiques particulières de l'année. L'analyse de la variance met en évidence des différences très hautement significatives entre

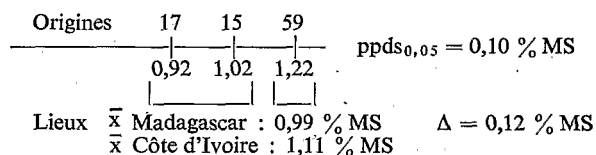
TABLEAU IV

Comparaison de trois origines de *C. arabica* implantées à Ilaka-Est et au Tonkoui

Analyse de la variance

Source de variation	SCE	d. l.	CM	F
Origine .....	1,4396	2	0,720	33,78***
Lieu .....	0,3699	1	0,370	17,87***
Interaction ...	0,0656	2	0,033	1,58 NS
Résiduelle ....	1,7399	84	0,021	
Totale .....	3,6150	89		

Classement des moyennes



les origines d'une part, entre les lieux géographiques d'autre part (tableau IV). La différence des moyennes entre les localités est de 0,12 % MS ; elle est donc faible et de l'ordre de grandeur de l'écart-type résiduel. En outre, l'interaction origine-milieu n'est pas significative comme nous l'avions pressenti.

L'influence des conditions régionales de culture est donc insuffisante pour expliquer à elle seule les variations de teneur en caféine rapportées dans la littérature à propos des *C. canephora* de l'Angola et des *C. racemosa* du Mozambique. Leurs origines génétiques sont ainsi en cause.

## Effet « dates de récolte »

En abordant l'action du milieu local sur la variation de la teneur en caféine, nous avons aussi mis en évidence un effet significatif des dates de récolte (tableau III). La teneur en caféine décroît insensiblement du début à la fin de la récolte et entraîne un écart maximal de 0,15 à 0,22 % MS. En conséquence, le résultat de l'analyse d'un échantillon risque d'être différent suivant que les graines proviennent d'une seule récolte effectuée à des dates éloignées ou du mélange des récoltes successives de la même année.

## Effet « années »

Dans les diverses stations, certains génotypes ont été échantillonnés plusieurs années de suite. Les comparaisons des couples de résultats obtenus peuvent se résumer comme suit :

- Ilaka-Est — clones de *C. canephora*
- 1968/1970 21 couples, écart moyen d = 0,04 % MS NS.
- 1969/1970 13 couples, écart moyen d = 0,27 % MS\*\*
- 1970/1972 110 couples, écart moyen d = 0,05 % MS\*



— Divo - Man — *C. arabica*  
 1970/1971 19 couples, écart moyen d = 0,04 % MS\*  
 — Foubot — *C. arabica*  
 1971/1972 40 couples, écart moyen d = 0,20 % MS\*\*\*.

Les conditions climatiques particulières de l'année considérée entraînent des variations de la teneur en caféine insignifiantes ou au contraire marquées suivant les années (écart maximum de 0,20 % MS chez *C. arabica* et de 0,27 % MS chez *C. canephora*). Il peut se superposer à cet effet «année» celui de l'âge des caféiers qui n'a pas été pris en compte.

En définitive, les résultats des dosages effectués dans un pays sur plusieurs années ne peuvent être comparés sans précautions. Si l'interaction génotype-année n'est pas significative, il suffirait d'utiliser un témoin constant.

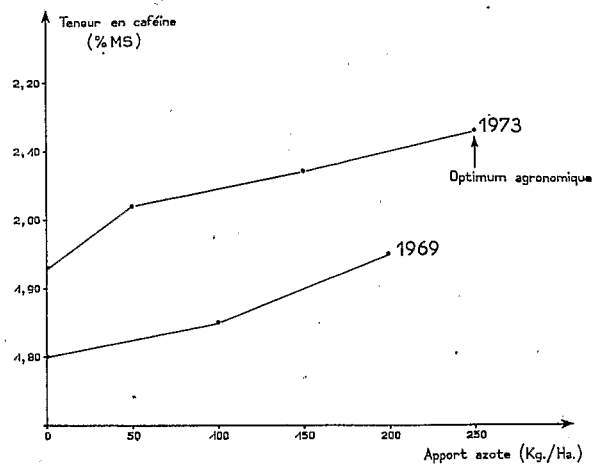
## Action de la fertilisation minérale azotée

L'effet de la fertilisation azotée a été recherché dans un essai factoriel comprenant les trois éléments majeurs N, P et K, avec trois niveaux d'application sur l'hybride *Congusta* HB implanté à Madagascar. L'apport d'une fumure azotée entraîne une augmentation significative de la teneur en caféine de l'ordre de 0,20 % MS (graphique 3). L'installation d'une plante de couverture (*Flemingia congesta*) qui améliore la croissance et le taux d'azote des feuilles de caféiers induit aussi un relèvement du taux de caféine (0,14 % MS).

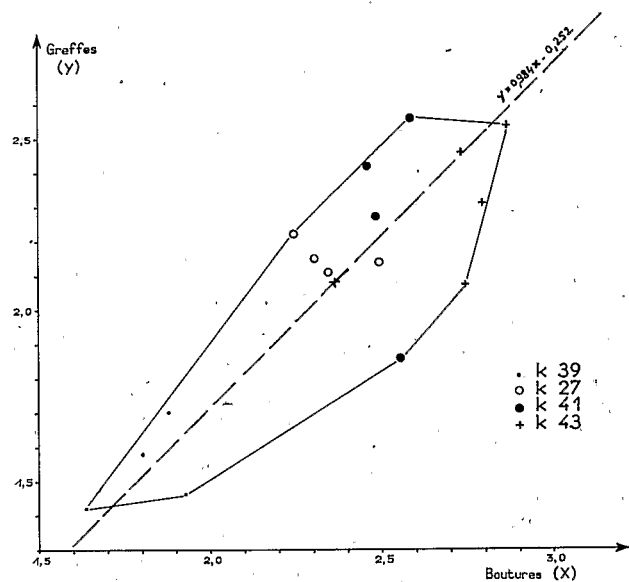
Cet essai agronomique a révélé que l'azote est le facteur limitant du rendement dans les conditions de culture de la Côte Est malgache. En l'absence de fumure azotée, la croissance, la production et le métabolisme des caféiers sont déficients à Madagascar, alors que l'action de la fertilisation minérale est peu efficace en Côte d'Ivoire. En conséquence, les teneurs en caféine ne peuvent être comparées qu'entre arbres recevant les mêmes traitements agronomiques (plante de couverture, niveau des apports azotés).

## Influence du greffage sur *Mascarocoffea*

Quelques clones de caféiers cultivés avaient été greffés sur des espèces spontanées malgaches pour étudier la compatibilité de ces associations et l'utilisation agronomique éventuelle de ces porte-greffes. Le sondage effectué ayant révélé une nette diminution des teneurs en caféine chez les sujets greffés, nous avons étudié l'effet d'un porte-greffe sans caféine.



Graphique 3. — Action de la fumure azotée sur la teneur en caféine (hybride *Congusta* HB)



Graphique 4. — Teneur en caféine des clones de *Coffea canephora* greffés sur *Coffea perrieri*

Dans un essai composé de couples «bouture-greffe» de *C. canephora* associé à l'espèce malgache *C. perrieri* dans un dispositif expérimental complètement «randomisé», nous avons échantillonné quatre souches différentes à raison de quatre couples par souche. La diminution moyenne de la teneur en caféine des *C. canephora* greffés est de 0,29 % MS. L'analyse statistique des résultats montre qu'il existe une relation linéaire entre la teneur en caféine des greffes (y) et des boutures (x) associées par couples. Cette droite des moindres rectangles a pour équation  $y = 0,984x - 0,252$  (graphique 4) et elle n'est pas modifiée par l'action des génotypes.

La diminution de la teneur en caféine due au greffage a aussi été constatée dans une combinaison différente constituée par l'hybride *Congusta* HB greffé sur l'espèce malgache *C. millotii*.

## Facteurs de variation technologique

La teneur en caféine des graines immatures décroît à mesure qu'elles s'achèment vers la maturité (Beaudin-Dufour et Muller, 1971). Afin d'écartier cette influence, le café vert dosé provient exclusivement de fruits récoltés à maturité.

Les modifications éventuelles de la teneur en caféine liées aux divers modes de préparation du café vert (voies « humide » ou « sèche », démulcination chimique, séchage...) n'ont pas été étudiées.

Pour Wilboux (1956), la grosseur des graines n'influe pas sur la teneur en caféine. Mais Portères (1937) note qu'elle est plus faible chez les graines « caracolis » par rapport aux graines normales de gros Indénié (diminution de 0,10 à 0,70 % MS). Nous confirmons cette diminution chez une souche de *C. canephora* (clone 526-60), mais elle est de peu d'importance (0,04 % MS).

**En définitive, les importantes variations de teneur en caféine enregistrées pour certaines souches au cours des dosages successifs depuis 1968 (écart maximal rencontré : 0,80 % MS) s'expliquent par les défauts d'échantillonnage et par l'action des facteurs externes dont les plus significatifs entraînent**

**des écarts de l'ordre de 0,30 % MS.** Le prélèvement des échantillons doit donc tendre à contrôler au mieux les facteurs de variation connus (lieu, méthodes culturales et fertilisation, année et date de récolte, greffage...) et à prendre un nombre de répétitions adéquat par origine étudiée (quinze individus par descendance).

La plupart des modifications de teneur en caféine induites par les conditions pédo-climatiques locales se rapportent à la physiologie du caféier. De même, la fumure minérale azotée agit sur le métabolisme de la caféine qui possède dans sa molécule une base azotée purique. Enfin, la diminution de la teneur en caféine des graines de *C. canephora* greffé sur une espèce malgache *C. perrieri* résulte de l'interaction défavorable du porte-greffe sur la physiologie du greffon : l'incompatibilité partielle de la greffe se traduit par un bourrelet important et une vigueur moindre du caféier greffé par rapport aux boutures isogéniques du même âge. Cette influence ne permet pas de conclure à une action directe du caféier malgache pris comme porte-greffe sur la biosynthèse de la caféine. Suivant les auteurs, elle a son siège soit dans les feuilles (Anderson et Gibbs, 1962) et tout spécialement les jeunes feuilles (Wanner et Blaim, 1961), soit dans les fruits (Keller *et al.*, 1972) et plus particulièrement le péricarpe (Baumann et Wanner, 1972).

## CONCLUSIONS

Cette synthèse sur la teneur en caféine du café vert constitue une étape dans les recherches caféières. Elle correspond à l'ensemble des résultats acquis sur les facteurs de variation de ce caractère et qui ont une valeur opérationnelle pour l'obtention de cafés moins riches en caféine.

Le fait majeur est d'avoir montré que **chaque génotype a une teneur en caféine définie et que la transmission héréditaire de ce caractère est de type quantitatif** (déterminisme polygénique). La variation génétique de l'ensemble des génotypes en collection appartenant aux espèces cultivées a une étendue de l'ordre de 1 % pour *C. arabica* et de 2 % pour *C. canephora*. La teneur moyenne en caféine de chaque descendance contrôlée est proche de la moyenne arithmétique des teneurs des parents. La variabilité des descendance est liée au degré d'hétérozygotie des parents et par voie de conséquence à leur mode de reproduction. Ainsi la variation de la teneur en caféine est-elle faible pour les descendance de l'espèce *C. arabica* à autogamie prépondérante (écarts-types de 0,06 à 0,13 % MS), alors que les géniteurs fortement hétérozygotes de l'espèce allogame *C. canephora* donnent naissance à des descen-

dances dont l'étendue de variation recouvre celle de la population échantillonnée (écarts-types de 0,30 à 0,50 % MS). De même, la teneur moyenne en caféine est intermédiaire entre celle des espèces parentes pour les croisements interspécifiques (hybrides *Congusta* et « Arabusta », *C. canephora* × *C. eugenioides*). Rappelons aussi que la duplication chromosomique de *C. canephora* n'entraîne pas de modification de la teneur en caféine des génotypes autotétraploïdes.

L'expression du caractère « teneur en caféine » d'un génotype donné est modifiée par l'action de facteurs externes variés. Seuls quelques-uns présentent des effets significatifs (0,20 à 0,30 % MS) par rapport à la variation résiduelle des divers essais. Ce sont les dates et les années de récolte des fruits mûrs, l'hétérogénéité du milieu et la diversité des lieux d'implantation, le niveau de la fertilisation azotée. En fait, l'influence de ces facteurs externes est faible par rapport à la variation génétique (cinq à huit fois moindre) ; l'action du milieu est aisément atténuée dans les essais si l'on prend garde de réaliser les prélèvements dans des conditions homogènes. De plus, l'échantillonnage dans les descendance de

*C. arabica* et de *C. canephora* a été calculé pour mettre en évidence des différences entre les origines génétiques de l'ordre de  $2\sigma$  : il est de quinze caféiers au maximum.

L'emploi d'une espèce qui ne contient pas de caféine comme porte-greffe de *C. canephora* entraîne une diminution moyenne de la teneur de 0,30 % MS dans les graines produites par le greffon. Cet effet bénéfique s'accompagne d'une interaction défavorable pour sa vigueur et d'une incompatibilité partielle.

La variation génétique du caractère a aussi été abordée dans l'ensemble du genre *Coffea*. La teneur en caféine varie de façon continue de 0,2 à 4 % MS chez les espèces d'origine africaine, avec des chevauchements importants entre elles. Comme on le sait, le café Arabica contient en moyenne deux fois moins de caféine que le café Robusta (1,2 contre 2,5 % MS en Côte d'Ivoire). Il existe une coupure nette avec les groupes des *Mascarocoffea* et des *Paracoffea* qui ne contiennent pas de caféine naturellement.

L'ensemble de ces conclusions constitue une base solide pour élaborer un programme d'amélioration génétique du caractère « teneur en caféine ». Sa mise en œuvre dépend des objectifs que l'on se fixe : rapidité d'obtention des résultats, taux de caféine recherché, mode d'utilisation technologique. Nous proposons un certain nombre d'orientations pour la réalisation d'un tel programme.

1) L'exploitation immédiate des résultats des dosages effectués chez les deux espèces cultivées est possible par la vulgarisation des souches sélectionnées productives qui ont, en outre, les plus faibles teneurs en caféine. Actuellement, les variations observées permettent de se fixer comme critère de sélection des teneurs inférieures à 1 % pour *C. arabica* (origines éthiopiennes numéros 15 et 17, la plupart des variétés sélectionnées d'Amérique australe) et à 2 % pour *C. canephora* (huit clones retenus parmi la quarantaine de souches sélectionnées à Madagascar)\*, ce qui constituerait un abaissement de 20 à 25 % par rapport aux cafés commercialisés. Cette amélioration qualitative ne risque pas d'être remise en cause par la structure des variétés vulgarisées : lignées fixées de *C. arabica*, sous-clonage des pieds mères de *C. canephora*. Par contre, la variabilité du caractère serait intégralement restituée dans les descendance sexées de cette dernière.

\* La distribution de la teneur en caféine des quarante-deux clones productifs de *C. canephora* retenus pour la vulgarisation à Madagascar a pour moyenne 2,21 % MS et pour écart-type 0,31 % MS. Ces caractéristiques sont équivalentes à celles de la population des souches en collection ( $\bar{x} = 2,15$  % MS,  $s = 0,32$  % MS). La sélection sur la productivité a donc conduit à retenir des clones représentatifs de la variabilité globale de la teneur en caféine chez *C. canephora*. Cette situation s'explique par l'absence de liaison nette entre ces deux caractères.

2) L'obtention de caféiers Arabica et Robusta, avec un taux de caféine encore plus faible, passe par la création de nouvelles combinaisons génétiques. Etant donné le mode de transmission du caractère étudié, il importe de réaliser des croisements entre des géniteurs à basse teneur en caféine (0,6 à 0,8 % MS pour *C. arabica* ; 1,2 à 1,5 % MS pour *C. canephora* à Madagascar) et d'exploiter la variabilité des descendance. Si la diversité génétique du « pool » de départ est insuffisante, il n'est pas certain que l'on réussisse à dépasser le cadre de la variabilité connue.

3) Il ne faut donc pas perdre de vue que le matériel végétal sélectionné dans la plupart des pays producteurs de café a une base génétique restreinte. Les résultats des prospections du centre d'origine de *C. arabica* sont révélateurs de cette situation. En effet, les cultivars sélectionnés en Amérique australe dans des introductions restreintes ont une faible variabilité et de basses teneurs en caféine. Par contre, les origines spontanées ou sub-spontanées d'Ethiopie présentent une étendue de variation plus importante. Nous avons aussi signalé pour *C. canephora* que la teneur en caféine dépendait des provenances (différence entre les Robusta INÉAC et les Kouilou spontanés ivoiriens). Ces exemples prouvent que de nouveaux progrès ne sont possibles que par un élargissement et une diversification du « pool » génétique de départ. Pour *C. arabica*, le problème est en partie résolu. Si l'on devait refaire une prospection en Ethiopie, il serait souhaitable d'insister sur la province de Goré où l'on rencontre la variabilité maximale de la teneur en caféine (origines 15, 17 et 19). Par contre, pour *C. canephora*, la situation est moins nette : le matériel végétal cultivé est de type Robusta et plus rarement Kouilou ; la multiplication en fécondation libre de ces populations allogames engendre une grande diversité ; cette apparence est probablement trompeuse. L'échantillonnage du polymorphisme de cette espèce à grande distribution géographique est à reprendre, sans négliger les espèces apparentées comme *C. congensis*, et le caféier de la « Nana ».

4) Les souches sélectionnées de Caneporoïdes sont pratiquement les seules à être cultivées dans les régions tropicales de basse altitude, mais leurs charges en caféine sont les plus élevées. On ne peut pas leur substituer les lignées de *C. arabica* qui donnent un café de meilleure qualité à teneur en caféine moyenne, du fait de son inadaptation aux conditions écologiques de plaine. Pourtant, il semble bien que l'on puisse réduire le taux de caféine des caféiers cultivés en basse altitude par l'exploitation de la variabilité intraspécifique et par l'hybridation interspécifique, ces deux voies n'étant pas exclusives l'une de l'autre. Nous avons déjà envisagé la première éventualité ; pour bien montrer sa valeur opérationnelle, il suffit de rappeler deux exemples :

— dans les collections de *C. canephora* de Madagascar, il existe plusieurs génotypes dont les taux de caféine se situent au niveau de la moyenne de *C. arabica* (1,20 % MS) ;

— l'espèce *C. congensis* apparentée aux Cane-phoroïdes présente une variation de la teneur en caféine (1 à 1,4 % MS) identique à celle de l'*Arabica*.

Rien ne prouve que dans ces deux cas on ne peut pas tomber en dessous du seuil de 1 % MS.

Le greffage de *C. canephora* sur les caféiers malgaches sans caféine est aussi un moyen d'abaisser sa teneur en caféine. Cependant, la combinaison étudiée avec *C. perrieri* n'est pas exploitable directement à cause d'une interaction défavorable au greffon. L'influence d'autres combinaisons mieux équilibrées sur la teneur en caféine pourrait être recherchée.

5) Le recours aux croisements interspécifiques pour améliorer la qualité des cafés de basse altitude est envisagé pour trois raisons :

— on ne peut leur substituer les lignées de *C. arabica* du fait de l'inadaptation de celles-ci aux conditions écologiques de plaine,

— on connaît quelques hybrides dont la fertilité est compatible avec leur exploitation agronomique,

— leurs teneurs en caféine sont intermédiaires entre celles des parents et leur variabilité donne prise à la sélection.

Les hybrides *Congusta* (*C. congensis* × *C. robusta*) cultivés à Java et à Madagascar, et les hybrides « Arabusta » (*C. arabica* × *C. robusta* autotétraploïde) expérimentés en Côte d'Ivoire répondent à l'objectif fixé. La teneur en caféine de ces hybrides peut être abaissée par l'utilisation préférentielle de géniteurs à basse teneur et par une sélection sur ce critère dans les descendance hybrides.

Mais on peut aussi bien hybrider *C. canephora* avec les autres espèces spontanées africaines parfois cultivées très localement. Les plus intéressantes du point de vue de la caféine sont *C. racemosa* (0,6 à 1,2 % MS) et surtout *C. eugenioides* (0,2 à 0,5 % MS). Cette voie de recherche suppose une bonne connaissance des relations cytogénétiques entre les espèces et l'obtention d'hybrides assez fertiles pour envisager leur utilisation agronomique. De tels travaux sont en cours à Madagascar et en Côte d'Ivoire. L'étude de la combinaison *C. canephora* ×

*C. eugenioides* est la plus avancée (Louarn, 1975). Tout programme de cette nature repose aussi sur l'acquisition de « pools » géniques diversifiés.

6) La culture de caféiers ne contenant pas, à l'état naturel, de caféine serait la meilleure solution pour remplacer les cafés décaféinés par voie chimique, actuellement commercialisés. Elle repose donc sur la domestication des caféiers spontanés appartenant aux groupes des *Mascarocoffea* et des *Paracoffea*.

L'étude récente des collections de *Mascarocoffea* porte sur la diversité de leurs caractéristiques. Le café produit est habituellement impropre à la consommation du fait de substances amères et de goûts ou d'arôme particuliers. Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut penser que l'exploitation directe de ces espèces sans caféine peut aboutir, dans la mesure où les facteurs défavorables présentent une grande variabilité dans les populations naturelles, ce qui est en cours de démonstration (Charrier, 1975).

Ces difficultés incitent, en attendant, à tenter l'introgession du caractère « absence de caféine » chez les caféiers cultivés *C. arabica* et *C. canephora*. Les croisements des *Mascarocoffea* avec ces caféiers africains sont difficiles à réussir. Les hybrides obtenus sont très peu fertiles et leur intérêt dépend des possibilités de restauration de cette fertilité (Charrier, 1975).

Le cas des *Paracoffea* sans caféine est tout aussi particulier. C'est une catégorie de caféiers très spéciaux dont on sait bien peu de choses, mais dont l'étude biologique est du plus grand intérêt.

Ces voies de recherches sont toutes à long terme et leurs résultats sont incertains. Mais elles permettent une analyse génétique de la biosynthèse de la caféine.

7) Toutes les propositions précédentes de recherches sont orientées vers l'obtention de caféiers cultivés contenant moins de caféine en vue de la consommation. Mais on peut tout aussi bien réaliser une sélection pour de très fortes teneurs en caféine en vue de l'extraction de cet alcaloïde et de son utilisation industrielle. Il faut partir dans ce cas de l'espèce *C. canephora*, dont certains génotypes atteignent des teneurs de 4 % MS et appliquer un niveau de fumure azotée qui améliore le rendement en alcaloïde.

Nous tenons à remercier les responsables des laboratoires de physiologie de l'ORSTOM (MM. J. P. Colonna et H. Rabéchault) et de chimie de l'IFCC (M. J.-C. Vincent) ainsi que leurs collaborateurs (M<sup>mes</sup> D. Raillot et D. Lievoux) qui ont effectué les nombreux dosages de caféine rapportés dans cet article.

Nos remerciements s'adressent aussi aux responsables IFCC de la sélection du café à Madagascar (MM. P. Picot et J. Vianney-Liaud), en Côte d'Ivoire (M. J. Capot) et au Cameroun (M. P. Bouharmont) et à M. F. Berthou (ORSTOM, Côte d'Ivoire) pour leur collaboration à cette étude : mise à notre disposition d'essais, récolte et préparation d'une partie des échantillons, communication de résultats d'analyse.

Nous y associons M. le Professeur G. Rizet, tant pour ses conseils que pour le vif intérêt qu'il a porté à cette étude, et M<sup>me</sup> M. Dahuron qui en a assuré la dactylographie.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON (L.), GIBBS (M.), 1962. — The biosynthesis of caffeine in coffee plant. *J. Biolog. Chem.* (New York), 237, 1941-4.
- BAUMANN (T. W.), WANNER (H.), 1972. — Untersuchungen über den Transport von Kaffein in der Kaffeepflanze (*C. arabica*). *Planta* (Berlin), 108, 11-20.
- BEAUDIN-DUFOUR (D.), MULLER (L. E.), 1971. — Effet de la radiation solaire et de l'âge sur le contenu en caféine et en azote de feuilles et des fruits de trois espèces de caféiers. *Turrialba* (Costa Rica), 21, 4, 387-392.
- BERTHOU (F.), 1975. — Méthode d'obtention de polyploïdes dans le genre *Coffea* par traitements localisés de bourgeons à la colchicine. *Café Cacao Thé* (Paris), XIX, 3, 197-202.
- BERTRAND (G.), 1901. — Sur la composition chimique du café de la Grande Comore. *C. R. Acad. Sci.* (Paris), 132, 162-164.
- BERTRAND (G.), 1902. — Recherche et dosage de la caféine dans plusieurs espèces de café. *Bull. Sc. Pharm.* (Paris), 5, 283-285.
- BERTRAND (G.), 1905. — Sur les cafés sans caféine. *C. R. Acad. Sci.* (Paris), 136, 209-211.
- CAPOT (J.), DUPAUTEX (B.), DURANDEAU (A.), 1968. — L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Duplication chromosomique et hybridation. *Café Cacao Thé* (Paris), XII, 2, 114-126.
- CAPOT (J.), 1972. — L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Les hybrides « Arabusta ». *Café Cacao Thé* (Paris), XVI, 1, 3-18.
- CARVALHO (A.), TANGO (J. S.), MONACO (L. C.), 1965. — Genetic control of the caffeine content of coffee. *Nature* (Londres), 205, 4968, 314.
- CHARRIER (A.), 1972. — L'intercompatibilité des clones de caféiers cultivés sur la Côte Est malgache. *Café Cacao Thé* (Paris), XVI, 2, 111-122.
- CHARRIER (A.), 1975. — Contribution à l'étude génétique des *Mascarocoffea*. Septième Colloque scientifique international sur le Café, Hambourg (9-14 juin 1975).
- CHASSEVENT (F.), DALGER (G.), GERWIG (S.), VINCENT (J.-C.), 1974. — Contribution à l'étude des *Mascarocoffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), XVIII, 1, 49-56.
- COSTE (R.), 1955. — Les caféiers et les cafés dans le monde. Editions Larose (Paris), tome I, 382 p., tome II, vol. 1, 372 p., vol. 2, p. 383-894.
- ESTEVEZ (A. B.), OLIVEIRA (J. S.), 1973. — Contribution à l'étude des caractéristiques des cafés d'Angola. *Café Cacao Thé* (Paris), XVII, 1, 46-52.
- CHARRIER (A.), BERTHAUD (J.). — Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIX, n° 4, oct.-déc. 1975, p. 251-264, graph., tabl., réf.
- La teneur en caféine des caféiers cultivés et spontanés en collection à Madagascar, en Côte d'Ivoire et au Cameroun est déterminée sur graines par la méthode de Kum-Tatt, et confirmée en cas d'absence par chromatographie sur couche mince.
- Les taux de caféine des souches étudiées varient globalement dans les limites suivantes :
- *C. arabica* : 0,58 à 1,89 % MS,
  - *C. canephora* : 1,16 à 4,0 % MS,
  - *C. eugenioides* : 0,23 à 0,51 % MS,
  - Libério-excelsoïdes : 0,52 à 1,80 % MS,
  - *C. stenophylla* : 1,7 % MS.
- Les *Paracoffea ebracteolata* (africain), *humbertii* (malgache) et *bengalensis* (asiatique) ne contiennent pas de caféine, comme la plupart des *Mascarocoffea*.
- GUILLAUMET (J. L.), HALLÉ (F.), 1967. — Rapport de mission en Ethiopie. Rapport mult., ORSTOM.
- KELLER (H.), WANNER (H.), BAUMANN (T. W.), 1972. — Kaffeinsynthese in Früchten und Gewebekulturen von *C. arabica*. *Planta* (Berlin), 108, 4, 339-350.
- LEROY (J. F.), 1968. — Notice sur les titres et travaux scientifiques. Imp. MONNOYER (Le Mans), 38 p.
- LOPES (M. H. C.), 1971. — Teor em cafeína de cafés espontâneos de Moçambique. *Agron. moçamb.* (Lourenço Marques), V, 3, 157-165.
- LOPES (M. H. C.), 1974. — Caractéristiques chimiques et technologiques des cafés *Racemosa* du Mozambique. *Café Cacao Thé* (Paris), XVIII, 4, 263-276.
- LOUARN (J.), 1975. — Hybrides interspécifiques entre *C. canephora* et *C. eugenioides*. Thèse de doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Université de Paris-sud, centre d'Orsay, 10 juin, 29 p. mult.
- ORNANO (M. d'), CHASSEVENT (F.), POUGNEAUD (S.), 1965. — Composition et caractéristiques chimiques de *Coffea* sauvages de Madagascar. I) Recherches préliminaires sur leur teneur en caféine et isolement de la cafamarine. Second Col. Int. Chimie. Cafés, Paris (3-7 mai 1965). IFCC (Paris), 131-144.
- ORNANO (M. d'), CHASSEVENT (F.), POUGNEAUD (S.), 1967. — La détermination spectrophotométrique de la caféine. *Café Cacao Thé* (Paris), XI, 1, 14-30.
- PEARSON (E. S.), HARTLEY (H. O.), 1966. — Biometrika tables for statisticians (vol. I). University Press (Cambridge), 264 p.
- PORTÈRES (R.), 1937. — Etude sur les caféiers spontanés de la section des *Eucoffea*. 3<sup>e</sup> partie : Mise en culture et sélection. *Ann. Agric. Afrique Occ.* (Paris), 1, 3/4, 406-439.
- ROSSI (J.), 1933. — Etudes chimiques sur des cafés de Madagascar. *Ann. Mus. Colon. Marseille*, 5, 1, 20-41.
- SYLVAIN (P. G.), 1967. — El problema del contenido de cafeína en el café. *Café* (Lima), 8, 3, 1-11.
- VISHVESHVARA (S.), 1971. — Breeding for quality in coffee. *Indian Coffee* (Bangalore), 35, 12, 509-512.
- WANNER (H.), BLAIM (K.), 1961. — Ein Beitrag zur Biosynthese und Physiologie von Kaffein und Trigonellin bei *Coffea arabica*. *Planta* (Berlin), 56, 5, 499-510.
- WILBAUX (R.), 1956. — Les caféiers au Congo Belge : Technologie du café *arabica* et *robusta*. Direction de l'agriculture, des forêts et de l'élevage (Bruxelles), 213 p.
- WELLMAN (F. L.), 1961. — Coffee, botany, cultivation and utilization. Edit. Leonard Hill Ltd. (Londres), 488 p.
- CHARRIER (A.), BERTHAUD (J.). — Variation of the caffeine content in the *Coffea* genus. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIX, n° 4, oct.-déc. 1975, p. 251-264, graph., tabl., réf.
- The caffeine content of the cultivated and spontaneous coffee trees in the Madagascar, Ivory Coast and Cameroon collections was determined on seeds using the Kum-Tatt method and was confirmed in the case of any absence by thin-layer chromatography.
- The caffeine contents of the strains studied varied as a whole in the following ranges :
- *C. arabica* : 0.58 to 1.89 % DM.
  - *C. canephora* : 1.16 to 4.0 % DM.
  - *C. eugenioides* : 0.23 to 0.51 % DM.
  - Libério-excelsoïdes : 0.52 to 1.80 % DM.
  - *C. stenophylla* : 1.7 % DM.
- Paracoffea ebracteolata* (African), *humbertii* (Malagasy) and *bengalensis* (Asiatic) do not contain any caffeine as do most *Mascarocoffea*.

Le fait majeur est d'avoir montré que chaque génotype a une teneur en caféine définie et que la transmission héréditaire de ce caractère est de type quantitatif (déterminisme polygénique), aussi bien chez *C. arabica* et *C. canephora* que dans le cas d'hybrides interspécifiques.

L'expression de ce caractère est modifiée par l'action de facteurs externes variés dont les plus significatifs sont les dates et les années de récolte des fruits mûrs, l'hétérogénéité du milieu local et la diversité des lieux d'implantation, le niveau de la fertilisation azotée.

De plus, le greffage de souches de *C. canephora* sur une espèce de caféier spontané malgache réputé sans caféine entraîne une diminution moyenne de la teneur en caféine des graines récoltées sur le greffon de 0,30 % MS.

L'ensemble de ces résultats constitue une base pour la définition des voies d'amélioration génétique les plus propices à l'obtention de cafés contenant peu ou pas de caféine.

CHARRIER (A.), BERTHAUD (J.). — Schwankung des Coffeingehalts bei der Gattung *Coffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIX, n° 4, oct.-déc. 1975, p. 251-264, graph., tabl., réf.

Der Coffeingehalt der kultivierten und spontanen Kaffeebäume auf Madagaskar, in der Elfenbeinküste und Kamerun wird auf Samen mittels der Methode von Kum-Tatt bestimmt und in Abwesenheit durch Dünnschichtchromatographie bestätigt.

Die Coffeingehalte der untersuchten Sorten schwanken im ganzen genommen in folgenden Grenzen :

- *C. arabica* : 0,58 bis 1,89 % TS.
- *C. canephora* : 1,16 bis 4,0 % TS.
- *C. eugenioides* : 0,23 bis 0,51 % TS.
- *Liberio-excelsoides* : 0,52 bis 1,80 % TS.
- *C. stenophylla* : 1,7 % TS.

*Paracoffea ebracteolata* (afrikanisch), *humbertii* (madegassisch), und *bengalensis* (asiatisch) enthalten kein Coffein, wie die meisten *Mascarocoffea*.

Als Hauptsache wurde gezeigt dass jeder Genotyp einen bestimmten Gehalt an Coffein aufweist und dass die Vererbung dieses Charakters quantitativer Art ist (polygenischer Determinismus) sowohl bei *C. arabica* und *C. canephora* wie im Falle von interspezifischen Hybriden.

Eine Änderung erfährt dieser Charakter durch die Wirkung von verschiedenen äusseren Faktoren von denen die signifikantesten die Erntedaten und Erntejahre der reifen Früchte, die Heterogenität der örtlichen Umgebung, die Verschiedenartigkeit der Einpflanzungsorte und der Stickstoffdüngungsgrad sind.

Ausserdem bewirkt das Pfropfen von Unterlagen von *C. canephora* auf eine Art spontaner madegassischer als « coffeinfrei » geltender Kaffeebaum eine durchschnittliche Verminderung des Coffeingehalts der auf dem Pfropfreis geernteten Bohnen von 0,30 % TS.

Die Gesamtheit dieser Ergebnisse stellt eine Basis für die Definition der zur Erhaltung von wenig oder kein Coffein enthaltenden Kaffees meist geeigneten genetischen Verbesserungsmittel dar.

The main accomplishment lies in the fact that it was shown that each genotype has a definite caffeine content and that the hereditary transmission of this characteristic is of a quantitative nature (polygenic determinism) both in *C. arabica* and *C. canephora* and in the case of interspecific hybrids.

The expression of this characteristic is modified by the action of various external factors the most significant of which are the dates and years of harvesting of the ripe fruits, the heterogeneity of the local environment, the diversity of the planting sites and the nitrogen fertilizer level.

Moreover, grafting of *C. canephora* strains on a spontaneous Malagasy coffee tree species known to be « caffeine free » leads to an average decrease of the caffeine content of the seeds harvested on the graft of 0.30 % DM.

These results as a whole constitute a basis for the definition of the most favorable genetic improvement routes leading to coffees with little or no caffeine.

CHARRIER (A.), BERTHAUD (J.). — Variación del contenido de cafeína en el género *Coffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIX, n° 4, oct.-déc. 1975, p. 251-264, graph., tabl., réf.

El contenido de cafeína en los cafés cultivados y espontáneos que se hallan en colecciones en Madagascar, en Costa de Marfil y en Camerún se determina en los granos con el método de Kum-Tatt y se confirma en caso de ausencia con la cromatografía de capa delgada.

Los porcentajes de cafeína en las estirpes estudiadas varían en conjunto dentro de los siguientes límites :

- *C. arabica* : 0,58 al 1,89 % SS (substancia seca) ;
- *C. canephora* : 1,16 al 4,0 % SS ;
- *C. eugenioides* : 0,23 al 0,51 % SS ;
- *Liberio-excelsoides* : 0,52 al 1,80 % SS ;
- *C. stenophylla* : 1,7 % SS.

En los *Paracoffea ebracteolata* (africano), *humbertii* (malgache) y *bengalensis* (asiático), no se halla cafeína y tampoco en la mayoría de los *Mascarocoffea*.

El hecho más importante es el haber mostrado que en cada genótipo se halla un contenido de cafeína determinado y que la transmisión hereditaria de este carácter es de tipo cuantitativo (determinismo poligénico), tanto en *C. arabica* y *C. canephora* como en los híbridos interespecíficos.

La expresión de este carácter se halla modificada por la acción de factores externos variados de los que los más significativos son las fechas y los años de recolección de las cerezas maduras, la heterogeneidad del ambiente y la diversidad de los lugares de implantación, el nivel de fertilización nitrogenada.

Además resulta del injerto de estirpes de *C. canephora* sobre una especie de café espontáneo malgache reputado sin cafeína una disminución media del 0,30 % SS del contenido de cafeína en los granos cosechados sobre el injerto.

El conjunto de los resultados constituye una base para definir las vías de mejoramiento genético más propicias para lograr cafés sin o con poca cafeína.