

LES CAFÉIERS

I. INTRODUCTION

La diffusion de la culture du caféier s'est appuyée exclusivement sur l'espèce *Coffea arabica* à partir du XVI^{ème} siècle. Ce n'est qu'à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} que l'on a tenté de substituer, dans certains pays, cette espèce par d'autres plus tolérantes aux maladies, tout particulièrement à la rouille. Ces tentatives ont permis, très tôt, de se rendre compte des potentialités agronomiques des différentes espèces de caféiers qui se rencontraient, sous forme spontanée, dans les forêts africaines. C'est finalement l'espèce *C. canephora* qui a été retenue pour les qualités de vigueur et de résistance aux maladies qu'elle présentait. Cette espèce assure maintenant un quart de la production mondiale et a remplacé pratiquement toutes les espèces mises en cultures autres que *C. arabica*.

A. DONNÉES BOTANIKES SUR LES CAFÉIERS (COFFEA ET GENRES AFFINES)

Depuis la description de *Coffea arabica* par LINNÉ en 1753, la conception du genre *Coffea* et des espèces a été l'une des plus mouvementées de l'histoire de la botanique!

Il n'est pas possible de retracer ici cette histoire, mais quelques chiffres donneront une idée de ce que peut être le désarroi des chercheurs amenés à s'occuper de l'amélioration des caféiers et, pour ce faire, à considérer un ensemble naturel.

Près de 200 noms de *Coffea* ont été attribués; une vingtaine d'espèces se sont avérées appartenir à des genres très différents; *C. arabica* a reçu plus de 10 noms d'espèces et quelques 25 de ses variétés ont reçu des noms de binôme. *C. arabica* a été appliqué à 4 autres espèces aujourd'hui reconnues comme bien distinctes! ...

Il faut attendre 1947 pour une révision complète du genre par CHEVALIER. Quelques années avant, en 1941, LEBRUN apportait une conception moderne de ce que pourrait être une systématique des caféiers mais limitée aux seules (7 ou 8?) espèces de l'actuel Zaïre.

Les études sur les caféiers de la région phytogéographique malgache, inaugurées avec la description de *C. mauritiana* par LAMARCK en 1783, ont connu un regain d'activité avec PORTERES et LEROY à partir de 1960.

LEROY (1967 et 1980), a remanié et précisé de façon très importante les conceptions génériques.

C'est sur ces bases que nous présenterons le complexe des « caféiers ».

La *placentation cofféenne* (voir photo dans planche photo), qui se manifeste par le sillon longitudinal) sur la face interne plane de la graine, isole et rapproche entre eux, à l'intérieur de la famille des Rubiacées, les 4 genres: *Coffea*, *Paracoffea*, *Psilanthus* et *Psilanthopsis*.

Cette conception conduit à éliminer *Argocoffea* considéré comme section par CHEVALIER; *Argocoffea* et *Calycosiphonia* proches des caféiers n'ont pas leur placentation.

Signalons que la Flora of West Tropical Africa (2ème édition) (HUTCHINSON et DALZIEL) conserve une attitude bien en retrait puisqu'elle continue à considérer *Paracoffea*, *Argocoffea* et *Calycosiphonia* comme des *Coffea*.

La question n'est pas tant de savoir si on doit conserver 4 genres différents, l'important est de considérer que cet ensemble est homogène (Tableau 12): « ... *Coffea*, *Paracoffea*, *Psilanthus* et *Psilanthopsis*, quatre rameaux fort bien caractérisés, encore très proches de leur commune origine, marquée essentiellement par le *mode singulier de placentation* » (LEROY, 1962).

Les deux derniers genres s'individualisent sur des caractères morphologiques mineurs du fruit (côtes longitudinales) et des pièces florales (calice persistant, bractéoles linéaires et libres entre elles).

A priori, on ne peut savoir si ces genres appartiennent à un même complexe ou si, au contraire, leur différenciation est suffisamment marquée pour empêcher tout échange.

TABLEAU 12

Principales caractéristiques botaniques et répartition géographique des 4 genres de Rubiacées: *Coffea*, *Paracoffea*, *Psilanthus*, *Psilanthopsis*.

Genres	Inflorescences	Fleurs	Involucre	Mode de croissance	Répartition géographique
<i>Coffea</i>	axillaires parfois sub-terminales	isolées ou groupées	présent	monopode	Afrique et Madagascar
<i>Paracoffea</i>	terminales ou axillaires	isolées ou groupées	généralement absent	monopode et sympode	Afrique, Madagascar et Asie
<i>Psilanthus</i>	axillaires	isolées ou par deux	présent	monopode	Afrique
<i>Psilanthopsis</i>	axillaires	isolées ou par deux	présent	monopode	Afrique

LEROY a proposé en 1980 un nouveau groupement des espèces de caféiers dont le « caractère primaire » de classification n'est plus le mode de croissance monopodial ou sympodial mais la structure de la fleur: tube long et étamines incluses (*Psilanthus*) ou tube court avec étamines exertes (*Coffea*).

Le genre *Coffea* regroupe alors:

- les caféiers africains ou *Eucoffea*,
- les caféiers malgaches ou *Mascarocoffea*,

- les *Paracoffea* malgaches,
- le *Psilanthopsis kapakata*.

Le genre *Psilanthus* contient deux sous-genres :

- *Paracoffea*, pour les *Paracoffea* africains et le *Coffea melanocarpa*;
- *Psilanthus* pour les *Psilanthus* déjà décrits et une nouvelle espèce provenant de Tanzanie.

Un programme d'amélioration bien construit doit donc prendre en compte tous ces genres. Après tout, ce n'est pas la présence d'une épicalice qui est importante pour le consommateur de café ! La placentation cofféenne, ce qui fait le grain de café, est peut-être le seul caractère auquel on puisse se rattacher au départ ?

Rappelons que *Paracoffea humbertii* J.F. Ler peut être consommé à Madagascar, que *P. bengalensis* (Roxb.) J.F. Ler est quelquefois cultivé aux Indes (PURSEGLOVE, 1968), que *Psilanthopsis kapakata* (Hirsch.) A. Chev. produit une boisson appréciée en Angola.

Indiquons les éléments de repère taxonomique suivants :

1. Coffea

a. Sous-genre ou section *Eucoffea*

— Présence de caféine. Afrique

— 20 espèces regroupées en 5 groupes ou sous-sections sur des critères morphologiques (taille, feuilles, inflorescences, fleurs et fruits) et géographiques (Tableau 13).

— Cette classification, pour pratique qu'elle soit, n'en est pas moins artificielle et LEBRUN, d'après des critères plus évolutifs (structure des inflorescences, nombre de pièces florales et port), se trouve amené à regrouper différemment les espèces congolaises (Tableau 14).

La situation dans cet ensemble est bien déconcertante. Le relevé suivant en donnera une idée :

● Erythrocoffea			
— <i>C. canephora</i>	Pierre		8 noms d'espèces 16 variétés
— <i>C. arabica</i>	L.		11 noms d'espèces 25 variétés
— <i>C. congensis</i>	Froehner		6 variétés
● Pachycoffea			
— <i>C. liberica</i>	Bull. ex Hiern		11 noms d'espèces 13 variétés + race, formes
— <i>C. klainii</i>	Pierre		
— <i>C. oyemensis</i>	A. Chev		
● Melanocoffea			
— <i>C. stenophylla</i>	G. Don		3 noms d'espèces
— <i>C. carissoi</i>	A. Chev		
● Nanocoffea			

- *C. brevipes* Hiern 4 noms d'espèces
5 variétés
- *C. humilis* A. Chev
- *C. togoensis* A. Chev
- **Mozambicoffea**
- *C. eugenioides* Moore 5 noms d'espèces
- *C. racemosa* Lour. 5 noms d'espèces
- *C. zanguebariae* Lour. 5 noms d'espèces dont
3 dans des genres autres
que *Coffea*
- *C. schumanniana* Busse, *C. kivuensis* Lebrun
- *C. mufindiensis* Hutch, *C. ligustroides* Moore, *C. salvatrix* Swynn et Phil

b. Sous-genre ou section *Mascarocoffea*

— Absence presque totale de caféine. Madagascar (41 espèces), Comores (1) et Mascareignes (4 de Maurice et 1 commune à Maurice et à la Réunion).

— LEROY n'a remanié que peu le découpage en séries de CHEVALIER dont CHARRIER (1976), en prologue à une étude sur la structure génétique de ce complexe est amené à écrire :

« 1° certaines unités paraissent bien établies,

2° d'autres sont hétérogènes et nécessitent des remaniements. »

La nomenclature des *Mascarocoffea* est claire, peu de synonymie. Deux sous-espèces et quelques variétés et formes ont été décrites.

TABLEAU 13

Sous-sections des *Eucoffea* d'après CHEVALIER (1940).

- I. *Erythrocoffea* Arbustes moyens 2 à 7 m
Feuilles ordinairement persistantes, peu coriaces, moyennes
Fruits moyens, rouge brun à maturité, exceptionnellement jaunes
Exocarpe mince, mésocarpe charnu et mou à maturité.
- II. *Pachycoffea* Arbustes ou petits arbres: 4 à 20 m
Feuilles ordinairement persistantes et grandes, coriaces.
Fruits moyens ou gros, rouge brun à maturité ou un peu marbrés de vert brun (exceptionnellement jaunes).
Exocarpe épais, mésocarpe charnu et ferme à maturité.
- III. *Melanocoffea* Arbustes moyens 3 à 5 m
Feuilles subcoriaces, pétiolées, vert mat étroites ou elliptiques oblongues
Fruits noirs à maturité.
- IV. *Nanocoffea* Arbustes nains 0,23 à 2 m
Feuilles persistances, grandes ou moyennes subsessiles
Fruits moyens, rouges à maturité, peu nombreux.
- V. *Mozambicoffea* Arbustes 2 à 12 m
Feuilles caduques, petites (2-12 cm) renfermant des sclerites dans le limbe
Fruits ovoïdes à fèves petites ou très petites.



2 clones de *P. maximum* diploïdes sexués, originaires de Korogwe



2 inflorescences de l'espèce *Panicum infestum*

2 inflorescences de formes diploïdes de l'espèce *Panicum maximum*



TABLEAU 14

Comparaison entre la classification des *Eucoffea* de CHEVALIER (1947) et celle des espèces du Zaïre de LEBRUN (1941).

Chevalier (1947)		J. LEBRUN (1941) Espèces du Zaïre
<i>Erythrocoffea</i>	<i>C. canephora</i>	<i>Robustæ</i>
	<i>C. arabica</i>	<i>Abyssinicæ</i>
	<i>C. congensis</i>	
<i>Pachycoffea</i>	<i>C. liberica</i>	<i>Libericæ</i>
	<i>C. klainii</i>	
	<i>C. oyemensis</i>	
<i>Melanocoffea</i>	<i>C. stenophylla</i>	
	<i>C. carissoi</i>	
	<i>C. mayombensis</i>	
<i>Nanocoffea</i>	<i>C. humilis</i>	
	<i>C. brevipes</i>	
	<i>C. togoensis</i>	
	<i>C. schumanniana</i>	
	<i>C. eugenioïdes</i>	
	<i>C. kivuensis</i>	
	<i>C. mufidiensis</i>	
<i>Mozambicoffea</i>	<i>C. zanguebariae</i>	
	<i>C. racemosa</i>	
	<i>C. ligustroïdes</i>	
	<i>C. salvatrix</i>	

2. Paracoffea

Ce genre, récemment établi (LEROY, 1967) à partir d'une sub-division plus que centenaire de MIQUEL en 1856 du genre *Coffea*, a 4 sous-genres :

a - *Paracoffea* 11 espèces d'Asie, Indonésie et pacifique

b - *Insulanoparacoffea* 6 espèces de madagascar

c - *Afroparacoffea* 2 espèces d'Afrique

d - *Melanoparacoffea* 1 espèce d'Afrique

3. Psilanthus

34 espèces africaines dont une seule, *P. mannii* A. Chev., est, sinon bien connue, au moins abondante.

4. Psilanthopsis

Le genre a été créé en 1939 par CHEVALIER pour une espèce d'Angola, *Coffea kapakata* décrite par HIRSCHFELDT en 1930. Les caractéristiques morphologiques et la facilité d'obtenir des hybrides avec quelques es-

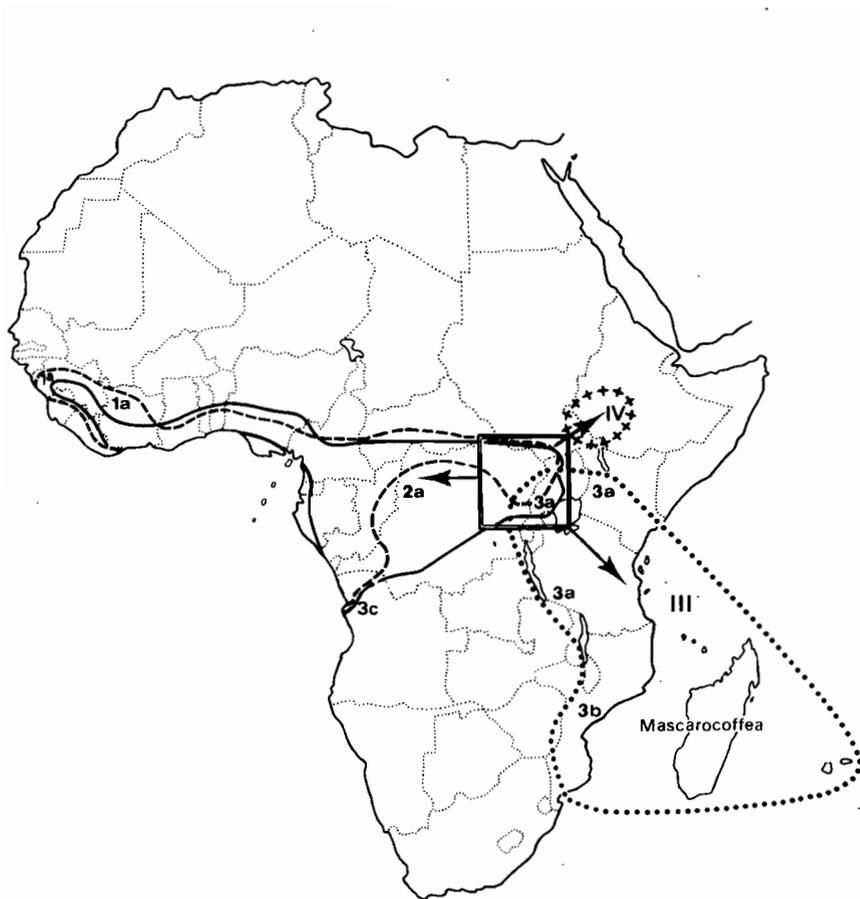


Figure 14: Distribution géographique des groupes de *Coffea* (CHARRIER, 1976)

- I *liberio-excelsoïdes* (1a=*C. stenophylla*)
- II *Canephoroides* (2a=*C. congensis*)
- III *Mozambicocoffea* (3a=*C. eugenioides*; 3b=*C. racemosa*; 3c=*C. kapakata*) *Mascarocoffea*
- +++++ IV *C. arabica*

□ Centre de dispersion des *Coffea*

pèces du genre *Coffea* le font maintenir par CARVALHO et MONACO (1959), MONACO et MEDINA (1965) dans le genre *Coffea*, tout particulièrement dans la section *Mozambicocoffea*. Ce que confirmerait la morphologie des chromosomes somatiques de cette espèce, très semblables à ceux de *C. racemosa* et *C. ligustroïdes* (BOUHARMONT, 1963). Mais en 1968, les mêmes auteurs, CARVALHO et MONACO, le relie aux *Erythrocoffea*.

Nous conservons ici le genre *Psilanthopsis* pour suivre le découpage générique de LEROY. Ce qui est important à noter, c'est que l'espèce appartient indéniablement au « complexe multispécifique des caféiers ».

Voici le bilan résumé des connaissances taxonomiques et systématiques qui peut être établi au début du programme d'amélioration du caféier.

Il n'est pas complet; nous n'avons pas cité, par exemple, l'approche intéressante de PORTERES avec ses ensembles *liberio-excelsoides* et *canephoroides*, ou les hésitations de CHEVALIER quant à la place de *C. eugenioïdes* entre son groupe des *Mozambicoffea* ou celui des *Erythrocoffea*.

En guise de conclusion, on formulera quelques constatations:

- le complexe morphologique des caféiers (présence de grains de café) comprend 4 taxons de rang générique aux relations mal définies,
- les espèces cultivées en grand ou localement sont connues sous de multiples noms. C'est le cas de *C. arabica* et *C. canephora*, mais aussi de *C. liberica*, *C. congensis*, *C. eugenioïdes*, *C. stenophylla*, *C. zanguebariæ* et *C. racemosa* qui furent ou sont encore cultivés plus ou moins occasionnellement,
- il se trouve que certaines de ces espèces ont une très grande aire de répartition: *C. canephora*, *C. liberica*, à un moindre degré *C. zanguebariæ* et *C. racemosa* (Figure 14).
- les espèces botaniques telles qu'elles ont été présentées ci-dessus n'ont certainement pas la même valeur. Et, sans préjuger des résultats de CHARRIER (1976) exposés plus loin, il paraît évident que les espèces malgaches, souvent représentées par un seul échantillon provenant d'une seule station, n'ont pas la même signification que la majorité des espèces africaines,
- c'est seulement à partir d'études génétiques réalisées sur du matériel installé en collection qu'il sera possible de savoir si tous ces taxons appartiennent à un même « complexe » ou si, au contraire, il y a des limites aux échanges (voir le cas de *Psilanthopsis*).

B. LE COMPLEXE MULTISPÉCIFIQUE DES CAFÉIERS

Nous avons vu, au paragraphe précédent, le grand nombre d'espèces de caféiers qu'il est possible de reconnaître, ceci étant dû à la grande diversité morphologique qui existe dans le genre *Coffea*. Cette étude botanique, si elle cerne le problème des limites du genre, ne nous renseigne que très peu sur les relations entre les espèces. C'est par des études génétiques sur les plantes en collection qu'il est possible de comprendre l'organisation du complexe d'espèces des caféiers.

Sans anticiper sur les résultats de l'évaluation qui fait l'objet du Chapitre IV, nous voudrions présenter ici les principaux points de l'organisation de ce complexe:

Niveau de ploïdie

Le nombre de chromosomes de base chez les caféiers est $x = 11$. L'espèce *C. arabica* est tétraploïde ($2n = 4x = 44$), tandis que toutes les autres espèces, tant chez les *Eucoffea* que chez les *Mascarocoffea* (LOUARN, 1972) sont diploïdes ($2n = 2x = 22$).

Régime de reproduction

L'espèce *C. arabica* est autogame, avec toutefois un taux d'allogamie voisin de 10% (KRUG et CARVALHO, 1951), tandis que toutes les espèces diploïdes sont allogames.

L'espèce *C. arabica* occupe donc une place à part tant par son régime de reproduction que par son niveau de ploïdie. Un des problèmes à résoudre au cours de l'évaluation du matériel en collection sera l'origine de cette espèce: s'agit-il d'un hybride entre deux espèces existant encore (ayant subi par la suite un doublement du nombre de chromosomes) ou, au contraire, n'y a-t-il qu'une espèce diploïde à l'origine de ce type de plante?

Les échanges génétiques

Les travaux de l'équipe brésilienne, récapitulés dans l'article de CARVALHO et MONACO (1968), montrent qu'il est possible d'obtenir des hybrides entre de nombreuses espèces de caféiers africains. Le critère de réussite utilisé est le nombre de plantes hybrides obtenues pour 100 fleurs.

On peut dégager de ces travaux les conclusions suivantes: les croisements entre caféiers appartenant à des sous-sections différentes peuvent fort bien aboutir à l'obtention d'hybrides, tel est le cas pour les croisements entre *C. dewevrei* (*Pachycoffea*) et *C. stenophylla* (*Melanocoffea*). D'autre part, l'espèce *Psilanthopsis kapakata* peut être très bien considérée comme appartenant au complexe d'espèce des *Coffea*, malgré toutes les différences morphologiques qui avaient conduit CHEVALIER à la classer dans un genre différent.

CHARRIER (1976), à partir des travaux à Madagascar, est amené à une conclusion similaire (Figure 15). Beaucoup de croisements interspécifiques conduisent à l'obtention d'hybrides: les croisements sont mêmes possibles entre des espèces appartenant aux deux sections *Eucoffea* et *Mascaro-coffea*.

On voit donc que, s'il existe des compartiments représentant des degrés d'isolement génétique entre groupes dans le complexe d'espèces des caféiers, ceux-ci ne suivent que très peu le découpage en taxons, sous-sections, sections, réalisé par les botanistes.

Au vu de ces résultats et d'arguments cytologiques que nous développons au Chapitre IV, il est possible de considérer que toutes les espèces diploïdes appartiennent à des génomes assez voisins.

C. LA MISE EN CULTURE DES CAFÉIERS

L'espèce *C. arabica*, originaire d'Ethiopie, a été mise en culture depuis très longtemps dans ce pays et certainement avant la découverte de l'utilisation comme café-boisson, puisque feuilles et fruits y sont consommés de diverses façons (LEMORDANT, 1971). La dispersion de cette espèce et sa mise en culture dans différentes parties du monde remonte au XVIIIème siècle (WELLMAN, 1961). Elle s'est faite à partir de quelques graines seulement. Ce matériel végétal a donc une base génétique très limitée.

L'utilisation de *C. canephora* est plus récente puisqu'elle a commencé au début du XXème siècle. L'aire de répartition de cette espèce est très vaste;

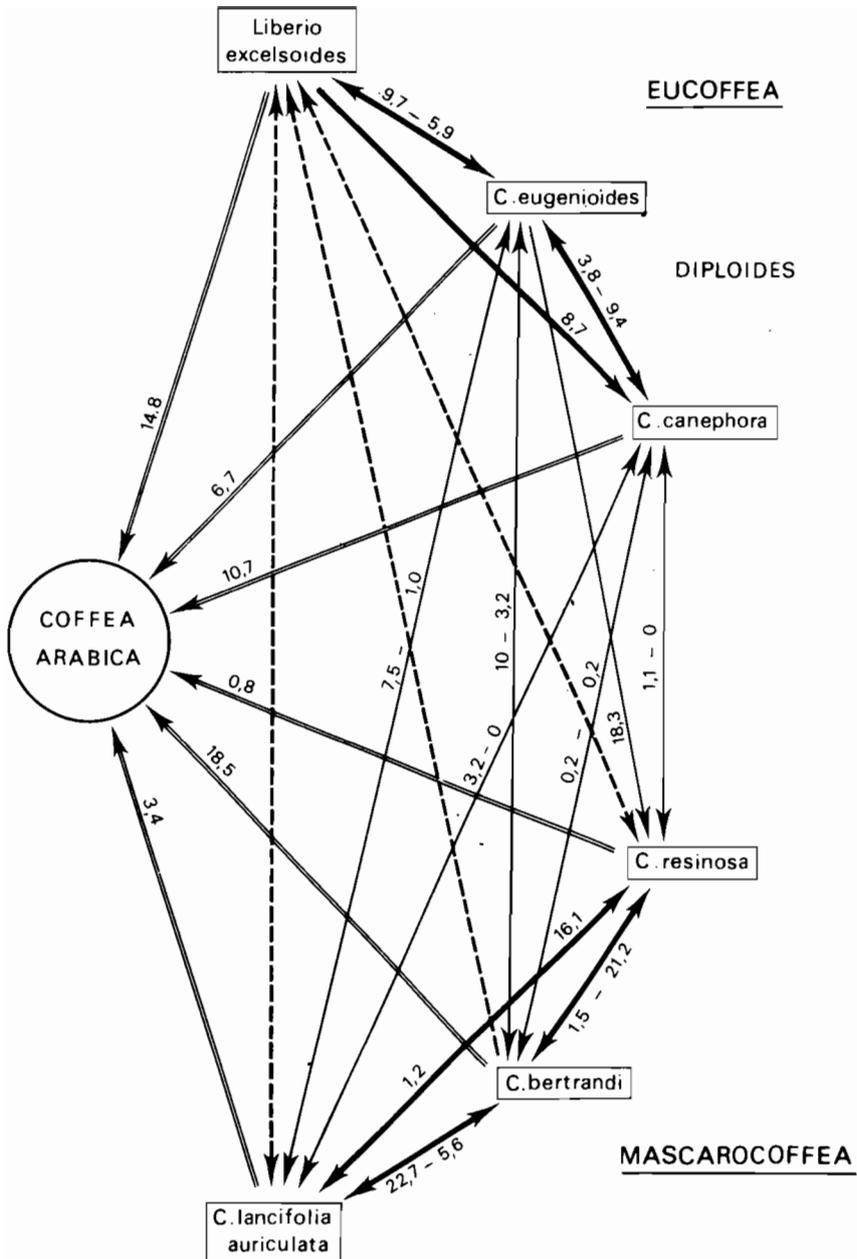


Figure 15: Réussite des croisements entre les différents groupes de *Coffea* (exprimée en hybrides pour 100 fleurs). CHARRIER (1976). La mention de 2 chiffres indique des différences en fonction des sens de croisements. Les valeurs sont situées près des parents femelles correspondants.

aussi les plantations dans de nombreux pays ont-elles été installées à partir du matériel végétal trouvé localement dans des populations spontanées en forêt. D'autres plantations ont été établies à partir des graines prélevées dans une petite population de caféiers au Zaïre et diffusées par LINDEN sous le nom de *Coffea robusta* (PURSEGLOVE, 1968).

Le matériel actuellement existant en plantation dans des pays comme la Côte d'Ivoire vient d'un brassage entre formes locales et formes introduites : la variabilité morphologique peut être très forte tandis que la variabilité génétique pour certains caractères peut aussi être faible du fait de la pauvreté génétique du matériel introduit.

La mise en culture d'autres espèces a aussi été tentée. Il s'agit tout particulièrement de *C. liberica* en Centrafrique et Côte d'Ivoire, mais l'épidémie de trachéomycose des années 1930-1950 a pratiquement fait disparaître cette espèce des plantations. Il nous a été rapporté que certaines missions sur les rives de l'Oubangui en Centrafrique avaient créé de petites plantations de *C. congensis*. Cette espèce a aussi fait l'objet de cueillettes dans des populations spontanées.

PURSEGLOVE (op. cit.) rapporte que *C. eugenioïdes* et *C. zanguebariæ* ont été occasionnellement cultivés. Le *C. humilis* a fait l'objet d'une mise en culture expérimentale en Côte d'Ivoire (PORTERES, 1937). Certains *C. stenophylla* peuvent être consommés.

Après tous ces essais de mise en culture, seules les espèces *C. canephora* et *C. arabica* se sont révélées intéressantes agronomiquement. Aussi, dans les collections actuelles, ne rencontre-t-on presque plus que des variétés de ces deux espèces, les représentants d'autres espèces étant conservés souvent à titre de curiosité. Toutefois, toutes ces espèces peuvent encore être prospectées et du matériel récolté dans les populations spontanées dans les forêts non encore exploitées.

D. LE TRAVAIL DE SÉLECTION

Pour les caféiers, l'essor des travaux de sélection date du début du siècle. Ils sont donc au moins aussi anciens que la mise en culture du *C. canephora*. Ces travaux portaient sur deux aspects : l'amélioration à l'intérieur de chaque espèce de caféiers, mais également le tri des espèces les plus prometteuses pour la mise en culture. Après la période d'essai de nombreuses espèces (*C. stenophylla*, *C. humilis*...), le choix a porté, outre *C. arabica*, sur les espèces *C. canephora* et *C. liberica*.

1. Le choix des critères de sélection

Les deux points ayant retenu l'attention des sélectionneurs sont la qualité du produit obtenu et la capacité de production des arbres. Ces deux critères n'ont pas toujours été utilisés simultanément. En effet, si tous les producteurs de *C. arabica* semblent intéressés par la qualité du produit obtenu, avec l'espèce *C. canephora*, la préoccupation première est la capacité de production des arbres. Le *C. canephora* étant une espèce à croissance vigoureuse peu attaquée par les différents parasites végétaux

et animaux, le tri des arbres intéressants s'est fait essentiellement sur le poids des récoltes obtenues.

L'espèce *C. arabica* est beaucoup plus sensible aux différents aléas et la régularité de production, qui est un critère aussi important que la production elle-même, ne peut être assurée que par l'introduction de résistances génétiques : c'est le cas de la résistance à la rouille, à l'antracnose...

La teneur en caféine des graines de caféiers intervient depuis peu comme critère de sélection.

Ces critères de sélection permettent de définir l'arbre idéal, réunissant les qualités nécessaires pour une mise en culture économiquement satisfaisante. Les limites de cette approche tiennent au fait qu'il faut très souvent réintroduire de nouveaux critères, les arbres idéaux de la génération précédente devenant rapidement inintéressants. C'est le cas d'hybrides de *C. arabica* obtenus suite à un programme d'introduction de la résistance à la rouille, à Lyamungu (Tanzanie). Entre-temps, une maladie avait pris une importance économique considérable, l'antracnose des baies, et les arbres sélectionnés pour leur résistance à la rouille n'avaient aucune résistance à l'antracnose ; ils avaient perdu beaucoup de leur intérêt.

Rappelons également que l'épidémie de trachéomycose a conduit à l'abandon de l'espèce *C. liberica* dans les plantations industrielles.

Ces critères de sélection peuvent être appliqués simplement à la fin d'un programme de croisements destiné à cumuler différentes qualités. Ils peuvent aussi faire l'objet d'études génétiques visant à déterminer leurs possibilités de transmission. Pour cela, il convient de s'intéresser aux méthodes de sélection.

2. Le choix des méthodes de sélection

Les méthodes de sélection sont différentes selon que l'on s'adresse à des plantes autogames (c'est le cas de *C. arabica*) ou à des plantes allogames (*C. canephora*). Le choix d'une méthode dépend aussi des possibilités de multiplication végétative. En général, en arboriculture, l'objectif recherché est une plantation homogène permettant des récoltes groupées. Cette homogénéité est facilement obtenue par clonage. Encore faut-il que les techniques de multiplication végétative soient disponibles. C'est le cas chez les caféiers, où les boutures de *C. canephora* sont obtenues à grande échelle et où le greffage pourrait servir à la mise en place de clones de *C. arabica*. Grâce à ces techniques de multiplication végétative, il suffit d'obtenir quelques arbres remarquables pour les transformer en variétés intéressantes. La sélection peut donc être très sévère. Les problèmes liés à l'homogénéité des parcelles et au petit nombre de clones utilisés pour l'installation des parcelles de culture ne seront pas discutés dans ce cadre.

Pour le *C. arabica*, les premiers travaux de sélection étaient basés sur l'analyse de lignées autofécondées pendant plusieurs générations. Il s'agissait d'une sélection de type généalogique permettant la diffusion de graines. Cette technique n'a pas conduit à des améliorations tangibles. Il semble d'ailleurs que la sélection retienne à chaque fois les plantes les plus hétérozygotes (PAYNE et FAIR-BROTHERS, 1976). Bien que *C. arabica* soit une plante autogame, les structures hétérozygotes sont donc très favorables, ceci étant confirmé par le comportement des hybrides F_1 entre ori-

gines différentes de *C. arabica*. Les techniques de bouturage et surtout de greffage permettent de proposer la diffusion de ce type d'arbre en grande culture.

Chez *C. canephora*, l'hétérozygotie des plantes conduit à une grande variété de types chaque fois qu'on réalise un croisement. Cette dispersion des résultats implique automatiquement le choix de meilleurs arbres dans chaque descendance pour une multiplication végétative ultérieure. L'obtention de nouvelles variétés diffusées par graines ne peut être proposée que si l'on désire avoir des variétés populations dont la plasticité face au milieu soit élevée.

Cette grande hétérogénéité rend difficile également la détermination des paramètres classiques de la génétique quantitative : l'aptitude générale (A.G.C.) et l'aptitude spécifique (A.S.C.) à la combinaison. Elle rend aléatoire une sélection en deux temps qui serait basée d'abord sur le choix des géniteurs à A.G.C. élevée, suivi de la détermination des A.S.C. à l'intérieur de ce groupe de géniteurs.

Une fois les méthodes de multiplication végétative bien dominées il est aussi possible d'entreprendre une sélection sur du matériel provenant d'hybridation interspécifique. Les premiers travaux dans ce sens ont été réalisés à Java au début du siècle (CRAMER, 1957). De nombreuses combinaisons d'hybrides naturels à partir des espèces *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica*, *C. stenophylla* ont été testées dans ce pays. Les hybrides « congusta » (*C. canephora* × *C. congensis*) ont été introduits en culture.

Plus récemment CAPOT (1972) en Côte d'Ivoire a entrepris l'hybridation entre les deux espèces cultivées *C. arabica* (tétraploïde) et *C. canephora* (diploïde). L'obstacle de la stérilité de ces formes hybrides dû aux niveaux de ploïdie différents des deux espèces a été surmonté en croisant des représentants de l'espèce *C. arabica* par des géniteurs *C. canephora* autotétraploïdes obtenus artificiellement. Cet auteur a pu dégager de l'ensemble des hybrides qu'il a réalisés plusieurs formes agronomiques intéressantes diffusées sous le nom d'« arabusta ».

3. Le choix du matériel

La réussite d'un cycle de sélection dépend beaucoup du matériel auquel il est appliqué. Si la grande variabilité des descendance de *C. canephora* a pu faire penser qu'il n'était pas urgent de prospecter toute la variabilité de cette espèce (DUBLIN, 1967), il n'en a pas été de même pour *C. arabica* pour lequel l'étude des premières variétés en provenance du centre d'origine (Ethiopie et Soudan) a montré la richesse en types morphologiques et formes résistantes à différentes maladies. L'intérêt pour les prospections étant récent, nous voudrions présenter les types de matériel qui étaient à la disposition du sélectionneur il y a quelques années.

a. Collection de types ou de mutants.

Les collections de mutants ont surtout été établies avec des *C. arabica*. Il existe les mutants : *erecta*, *maragogipe*, *cera*, *polysperma*, *purpurescens*, *laurina*. Ces mutants ont été bien étudiés au Brésil. La différence avec les formes initiales n'est souvent due qu'à un seul gène. Certains peuvent être utilisés pour des études particulières, en tant que marqueurs, par exemple

pour l'évaluation du taux d'allogamie (mutant *cera*). Le mutant *laurina* est lié à une faible teneur en caféine (KRUG et al., 1954.).

Chez *C. canephora*, on retrouve à peu près les mêmes mutants portant sur la forme de la feuille, la couleur du fruit, le port...

b. Collection de variétés sélectionnées.

Bien souvent, on trouve en collection les variétés sélectionnées pour leur productivité dans d'autres pays. En général, en dehors du pays de sélection, le comportement de ces plantes ne présente rien de remarquable. Cela peut s'expliquer par l'efficacité de la sélection qui n'a retenu que des plantes dont l'ajustement aux conditions locales du milieu est très strict permettant un fonctionnement optimum.

Les plantes remarquées dans les différentes plantations d'un pays seraient à inclure dans ce type de collection bien que présentant un tout autre intérêt. Ces plantes résultent d'un brassage génétique qu'il est difficile de préciser mais d'une efficacité indéniable. C'est en général sur ce type de plantes qu'a été basée la sélection clonale de *C. canephora* tout particulièrement en Centrafrique, Ouganda, Madagascar, Côte d'Ivoire (IFCC, 1963).

c. Collection d'espèces.

Les stations de recherches caféières ont en général, dans leur collection, quelques représentants d'espèces de caféiers d'origines diverses. La provenance des échantillons, quand elle est connue, ne correspond que rarement au pays d'origine de l'espèce. A la suite de ces transferts, on constate souvent des erreurs d'identification, quand il ne s'agit pas d'impossibilité de détermination suite à des hybridations naturelles pour le matériel repris par graine. Les espèces étant allogames, le parent paternel est inconnu et en collection il appartient souvent à une autre espèce. Ainsi, chaque multiplication de ce type s'accompagne au moins d'une perte d'information, sinon d'une erreur sur la nature du matériel.

Ces collections d'espèces ont été aussi établies dans des jardins botaniques. Malgré les problèmes évoqués précédemment c'est souvent à partir de ces jardins botaniques qu'ont été organisés les échanges de matériel pendant la première moitié du XXème siècle.

Ces collections ont donc un intérêt documentaire à la condition d'y supprimer toutes les erreurs qui auraient pu y être introduites au cours du temps, mais ne peuvent en aucun cas servir de base pour un programme d'amélioration et de sélection des caféiers. En effet, dans ce cas, il faut pouvoir prendre en compte la variabilité la plus complète possible de chaque espèce.

II. LES PROSPECTIONS

A. L'ORGANISATION DES PROSPECTIONS

1. Le choix des points de prospection

Les prospections de caféiers spontanés, depuis une quinzaine d'années, ont porté sur le *C. arabica* en Ethiopie par la F.A.O. en 1964 et par l'ORSTOM en 1966 (FAO 1968, GUILLAUMET et HALLE in IFCC 1978), sur les caféiers malgaches (*Mascarocoffea*) (ORSTOM-IFCC, 1960-1974) et sur les caféiers de la section des *Eucoffea* en Côte d'Ivoire, Centrafrique, Kenya (ORSTOM-IFCC, 1975-1977).

Le choix des espèces prospectées s'est porté tout d'abord sur l'espèce *C. arabica* qui assure les 3/4 de la production mondiale et qui, en Côte d'Ivoire, est la base du programme de création de variétés nouvelles du type « arabusta ». Les caféiers malgaches représentent une section originale du genre *Coffea* intéressante, tant pour la connaissance du genre que pour l'intégration dans un programme d'amélioration des caféiers par leur caractère « absence de caféine ». La prospection de ce groupe a été facilitée par l'existence d'une structure locale de recherches sur les caféiers simplifiant ainsi les problèmes de mise en collection du matériel prospecté, situation que l'on retrouve également en Côte d'Ivoire.

La prospection de la Centrafrique a été retenue car il était possible, dans un même état, de trouver plusieurs espèces et formes de caféiers: *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica*, Caféier de la Nana. L'intérêt portait surtout sur l'espèce *C. congensis* qui n'existait plus dans les collections africaines et dont les combinaisons interspécifiques avec *C. canephora* avaient produit des hybrides intéressants (CRAMER, 1957). Certains clones de ce type ont été diffusés à Java et Madagascar.

La prospection du Kenya fondée sur la recherche de *C. eugenioïdes* a été élargie aux autres espèces de ce pays: *C. arabica* qu'il est possible de trouver proche de la frontière éthiopienne, et *C. zanguebariæ* qui croît sur la côte de l'Océan Indien. L'intérêt de cette région est d'abriter des caféiers de la sous-section des *Mozambicoffea* qui représentent des formes de transition entre les *Eucoffea* et les *Mascarocoffea* (BERTHAUD et al., 1980).

On voit donc que l'organisation des prospections a été basée sur des considérations concernant le complexe multispécifique des caféiers et d'autres, beaucoup plus pratiques, concernant les possibilités de réalisation des différents projets (BERTHAUD et al., 1977).

Si les prospections peuvent se poursuivre, les pays à retenir seront des pays géographiquement intermédiaires entre ceux déjà prospectés, tel le Cameroun pour les caféiers centre et ouest africains, et la Tanzanie pour les *Mozambicoffea*. Nos recherches en herbier nous ont montré que ces pays possèdent un grand nombre de formes de caféiers.

2. Le choix des prospecteurs: profil.

Répartition des tâches.

Le travail de prospection fait appel à des connaissances très variées. Il y a donc intérêt à associer, dans une même équipe, des personnes ayant

des spécialités différentes. Les connaissances nécessaires en fonction du programme prévu peuvent être présentées de la façon suivante :

Connaissance de la plante :

- Il faut connaître les caractéristiques d'identification des caféiers. En effet, on doit distinguer les caféiers des autres espèces de Rubiacées et cela à tous les stades du développement végétatif, dans leur habitat naturel,
- les méthodes de conservation et de multiplication doivent être bien maîtrisées. Dans chaque population, il convient de choisir le type de matériel qui a les meilleures chances de survie. Des connaissances horticoles sont donc particulièrement nécessaires et doivent avoir été complétées par des mises au point spécifiques, car les techniques utilisées en prospection sont quand même différentes de celles pratiquées pour la manipulation de grandes séries de plantes.

Connaissances permettant de situer la plante dans son milieu :

- il s'agit de définir l'habitat de chaque espèce de caféiers et d'utiliser ces connaissances pour la recherche de nouvelles stations à caféiers,
- il convient également de définir les relations de la plante avec ses parasites naturels. Pour cela, un « paysage » phytosanitaire devra être décrit concernant les parasites attaquant les différentes plantes que l'on trouve dans les stations à caféiers. Les parasites des caféiers devront être récoltés pour les études ultérieures*.

Le rassemblement des connaissances nécessaires peut être obtenu en faisant appel à des spécialistes de 3 disciplines : botanique, phytopathologie, génétique et amélioration des plantes. Les tâches de chacun de ces spécialistes peuvent être réparties de la façon suivante :

Botaniste :

- Contribution à la stratégie de prospection
- recherche des stations à caféiers et description de la liaison caféiers-forêt
- participation à la récolte et identification du matériel caféier.

Phytopathologiste ;

- Participation à la récolte du matériel caféier.
- observation des différents parasites dans les stations à caféiers et dans leur voisinage,
- récolte des parasites du caféier*
- inventaire du matériel récolté et étude de la variabilité des parasites : niveau d'agressivité, caractérisation des races...

Généticien horticulteur :

- contribution à la définition de la stratégie de prospection
- recherche des stations à caféiers

* Ces récoltes sont soit destinées à des banques de parasites situées hors des zones à caféiers pour permettre des tests de résistance par inoculation, soit préparées sous forme de fixations mortes, dans des buts d'analyse.

- récolte du matériel
- conservation et transport du matériel
- participation aux études sur la variabilité du matériel prospecté.

B. RÉALISATION PRATIQUE DES PROSPECTIONS

1. Types de prospections

La réalisation pratique des prospections est surtout déterminée par le type des missions effectuées. En Côte d'Ivoire et à Madagascar, il s'agissait de prospections presque continues tout au long de l'année, tandis qu'en Centrafrique et au Kenya, il s'agissait de missions de durée limitée à 5 ou 6 semaines. Dans le premier type de prospection, il est possible d'obtenir des informations beaucoup plus précises que dans le deuxième.

L'itinéraire de prospection est déterminé en fonction des connaissances acquises préalablement, surtout par les visites d'herbiers. L'itinéraire cherche en général à couvrir l'ensemble des aires de répartition des différentes espèces. Pour une espèce comme *C. congensis* à répartition linéaire, il était facile de proposer à l'avance des points de prélèvement espacés de plusieurs centaines de kilomètres. Pour *C. liberica*, avec une répartition en réseau dans les forêts-galeries de Centrafrique par exemple, il était plus difficile de prévoir un itinéraire exploitant toutes les directions des gradients climatiques. Les limitations au schéma viennent en premier lieu du réseau routier qui ne se superpose pas obligatoirement très bien aux aires de répartition des caféiers. La deuxième limitation tient à la découverte des stations à caféiers. Les caféiers étant des plantes de forêt, il convient de trouver d'une part des forêts et ensuite, il faut localiser, si elles existent, les populations de caféiers à l'intérieur de ces forêts.

La conséquence en est que, pour des prospections de courte durée, leur réalisation complète doit être conçue en deux temps. Une première mission permet une récolte de matériel selon un réseau à mailles très larges. Avec les informations recueillies et l'analyse du matériel récolté, il est possible de localiser des « nœuds » de variabilité qu'il convient de reprospector par la suite.

2. Les caractères de reconnaissance des caféiers

Le caractère botanique permettant la distinction du genre *Coffea* des autres genres de Rubiacées est essentiellement la « placentation caféenne ». D'autres caractères sont liés à la fleur, aux bractéoles de l'épicélice... En forêt les caféiers fructifient rarement et la floraison n'a lieu qu'une ou deux fois par an et ne dure qu'un jour ou deux; on ne peut donc s'appuyer sur ces caractères pour une détermination en prospection. Aussi a-t-il fallu chercher des caractères de reconnaissance des caféiers typiques de l'appareil végétatif.

Pour les plantules :

Les plantules de caféiers ont des feuilles cotylédonnaires caractéristiques: feuille plus ou moins cordiforme, pétiole court, trois nervures, absence de poils ou d'ailettes sur la tige.

Pour les arbres adultes :

Les troncs de caféiers sont rectilignes et ne sont pratiquement jamais ramifiés dans la zone basale. leur diamètre excède rarement 10 à 15 cm, bien que l'on ait déjà rencontré des caféiers de 35 cm de diamètre. Le rhytidome est généralement lisse, finement pelucheux avec une tendance à s'exfolier, inodore et sans saveur à quelques exceptions près. La couleur varie de blanc à blanchâtre, gris, rouge et même noire avec une tonalité constante. Pour toutes les espèces, sous l'écorce, on trouve une assise chlorophyllienne que l'on met en évidence en enlevant un éclat d'écorce par coupe tangentielle.

Pour l'ensemble des plants :

La forme des stipules des caféiers peut se distinguer de celle des autres Rubiacées. Les stipules comportent une arête à leur extrémité. Chez les caféiers, l'arête peut être plus ou moins longue mais donne toujours l'impression de faire partie intégrante de la stipule, ce qui est rarement le cas chez d'autres Rubiacées. Les bourgeons terminaux sont toujours recouverts de cire dont la couleur varie avec l'espèce.

A partir des feuilles, on peut soit reconnaître certains caféiers, soit exclure du genre *Coffea* certaines Rubiacées. Les feuilles de caféiers ont très souvent un aspect brillant (mat dans le cas de *C. congensis*). généralement pétiolées, les feuilles de quelques espèces sont sessiles : la base du limbe peut être cordée. La taille des feuilles varie dans des proportions très importantes, de un ou deux centimètres chez certaines espèces malgaches à 30 ou 40 cm chez certains *C. liberica*. Les feuilles sont toujours entières et le bord du limbe est toujours droit. Certaines espèces possèdent des domaties (petites chambres avec ou sans poils à la base ou le long des nervures secondaires).

En général, l'un quelconque de ces caractères n'est pas suffisant pour déterminer un caféier mais seuls les caféiers les possèdent tous.

3. La recherche des stations à caféiers

Les fiches d'identification d'herbier fournissent parfois des indications précises et suffisantes pour retrouver une population de caféiers. Tel est le cas, par exemple, d'une espèce (*C. fadenii*), récoltée au Kenya en 1977 et qui avait été précédemment collectée et mise en herbier par un botaniste. Souvent, ces indications ne sont pas très utiles car les transformations du milieu ont été suffisantes pour faire disparaître les populations observées antérieurement. C'est le cas des populations de *C. eugenioïdes* au pied du Mont Kenya qui avaient été observées en 1930 dans des zones d'exploitations forestières. C'est aussi le cas de nombreuses populations prospectées par PORTERES (1937) en Côte d'Ivoire, à la même époque (*C. humilis*, *C. canephora*, *C. stenophylla*). Par contre, les exploitations forestières actuelles permettent souvent une pénétration en profondeur de forêts jusqu'alors peu visitées. En Côte d'Ivoire par exemple, nous avons pu prospecter dans les forêts du Sud-Ouest qui étaient, avant l'exploitation forestière, très difficiles d'accès.

Les stations accessibles et intéressantes ne sont donc pas permanentes. Les connaissances acquises ont été utilisées plus pour définir le type de forêt dans laquelle se trouve une espèce que pour avoir un repérage précis

des localités à prospector. Quand une espèce a été repérée dans son milieu, la prospection des populations suivantes en est facilitée. Mais cela ne dispense pas de prospector dans les étages de végétation différents ou dans les forêts d'un autre type, car il convient de bien cerner l'adaptation de chaque espèce de caféier. Ainsi, après prospection, il est possible de dire qu'au Kenya, *C. eugenioides* est adapté à un type de forêt précis, défini par les botanistes comme la partie supérieure de l'étage des «Lowland forest» (forêt de basse altitude) qui se trouve au Kenya vers 1600 m d'altitude. Les recherches à l'étage supérieur (Highland forest) ou étage à *Podocarpus*, se sont toujours révélées négatives. Les étages inférieurs ne sont que très rarement occupés par la forêt.

4. Description des populations de caféiers

Il paraît difficile de décrire une population «type» de caféiers; il s'agit donc ici simplement d'attirer l'attention sur les différentes caractéristiques de ces populations et leurs conséquences sur le schéma de prospection.

— Les populations de caféiers se trouvent généralement dans les forêts peu dégradées. Elles sont constitutives du sous-bois. Aussi tout début de défrichement leur est-il fatal. Quelques rares espèces peuvent tout de même exister en forêts en voie de reconstitution. Nous en avons vu quelques exemples en Centrafrique avec l'espèce *C. liberica*. A Madagascar, certaines populations de *C. buxifolia* se trouvent dans des reboisements d'Eucalyptus.

— De façon générale, il existe des arbres dispersés, rares, et des groupes de plusieurs arbres que nous appellerons populations. Les arbres dispersés, s'ils sont difficilement récupérables par échantillonnage lors d'une prospection, doivent tout de même jouer un rôle important dans la dynamique des populations de caféiers. En effet, ces caféiers pourraient être des arbres «relais» dans le transfert des gènes de population à population. Ils peuvent aussi être considérés comme «conquérants» de nouveaux milieux. La répartition spatiale des arbres d'une population, et entre populations, dépend des espèces.

Chez *C. liberica*, il existe de petits groupes d'arbres et des arbres «relais». Chez *C. congensis*, sur les bords des rivières et des fleuves, la répartition est linéaire tandis que l'on trouve des groupes d'arbres à l'intérieur des îles. La répartition de *C. eugenioides* est assez homogène. On ne trouve que très peu de groupements d'arbres, les arbres sont clairsemés dans la forêt (1 tous les 5 ou 10 mètres par exemple). Chez l'espèce *C. arabica*, au Mont Marsabit (Kenya), on a trouvé de petites populations constituées d'un ou deux arbres-mères et de nombreux descendants (jeunes arbres).

— Actuellement sauf dans quelques zones privilégiées, les forêts ne couvrent plus de grandes étendues de territoire de façon continue mais au contraire ont une répartition en mosaïque. Liées à la forêt, les populations de caféiers ont donc une répartition discontinue. Il est possible de trouver selon les espèces des discontinuités à l'intérieur de la forêt, comme nous venons de l'évoquer. Aussi la notion de population chez les caféiers est-elle variable d'une espèce à l'autre et d'un lieu à un autre. Une seule notion pourrait avoir une signification biologique: ce serait celle de communauté pollinique correspondant au groupe d'arbres échangeant librement des

grains de pollen entre eux. Malheureusement nous ne disposons que de peu d'études concernant les échanges polliniques entre caféiers dans leur milieu naturel. En Côte d'Ivoire dans la forêt de l'IRA des *C. canephora* se pollinisent entre eux à des distances de plus de 40 mètres. Nous avons donc admis qu'une population était finie dans la mesure où, autour du groupe d'arbres considéré, dans une bande d'une cinquantaine de mètres il n'existait plus d'autres caféiers. Cette définition est arbitraire. De toute façon il convient de repérer le plus exactement possible les groupes d'arbres. Après récolte et mise en collection pour les analyser il restera toujours la possibilité de choisir le niveau de regroupement : entre groupes d'arbres, entre grandes populations, entre régions, entre pays prospectés.

Outre l'hétérogénéité spatiale, il existe une hétérogénéité à l'intérieur de la population pour l'âge des arbres. Nous proposons une distinction entre les classes suivantes (BERTHAUD et GUILLAUMET, 1978) :

- Les plantules : elles ont conservé les feuilles cotylédonnaires,
- les jeunes plants de la chute des feuilles cotylédonnaires à l'apparition des rameaux plagiotropes,
- les jeunes arbres : de l'apparition des rameaux plagiotropes à la mise à fleur,
- les arbres adultes : à partir de la mise à fleur.

En comparant l'importance relative de ces différentes classes, il est possible de distinguer des populations en extension où toutes les classes sont bien représentées, et tout particulièrement la première, des populations en extinction où ne se trouvent presque que des arbres adultes.

Les arbres adultes ont des cycles de production très variables. Il est rare, en forêt, que tous les arbres capables de produire le fassent chaque année et simultanément. Ainsi donc, une récolte à un instant donné (type mission de prospection) ne portera que sur quelques arbres de la population et seulement sur ceux dont les fruits auront une maturité suffisante pour permettre une germination correcte des graines. Pour avoir une descendance de la plupart des arbres producteurs d'une population, il faut donc envisager des récoltes sur plusieurs années, avec plusieurs passages chaque année. Dans une population de *C. stenophylla*, en Côte d'Ivoire, la récolte a porté une année sur 28 arbres et l'année d'après sur 8 autres arbres. Cette population comprend plusieurs centaines d'arbres.

5. Observation-Echantillonnage

Le travail de recherche des populations étant effectué il reste l'observation de ces populations pour en retirer le maximum de renseignements et pour récolter du matériel végétal vivant.

Observations

Elles portent sur :

- la description du type de forêt,
- les différents étages, l'importance du sous-bois, sa composition,
- l'état sanitaire des caféiers et les différents parasites existant dans la forêt,
- la composition de la population : plan, importance de chacune des classes d'arbres, date de maturité des graines, estimation de la date de chute des fruits, de celle de la germination des graines.

Récolte de matériel

Pour la récolte, on a utilisé plusieurs types de matériel végétal, le choix étant en fait dicté par son utilisation ultérieure :

— Quand il s'agissait d'une première prospection, ou d'utiliser ces arbres comme géniteurs, on prélevait dans la population un certain nombre (30-50) de jeunes plants de 50 cm à 1 m de haut. C'est le matériel qui a les plus grandes chances de survie et de reprise. Cela est suffisant pour avoir une première idée de la variabilité des populations et revenir plus tard sur les plus intéressantes.

- Pour une collection de conservation, on récoltait le matériel le plus variable possible.

— Pour des études ultérieures de génétique des populations, on tente d'obtenir une image fidèle de la population en prélevant du matériel appartenant à toutes les classes définies précédemment.

Les techniques utilisées pour la récolte du matériel dépendent du type de plantes. Pour les plantules et jeunes plants, il suffit de les arracher. Le taux de reprise en serre est toujours très élevé, de l'ordre de 80 à 90%. Pour les arbres, il est nécessaire de prendre du bois de greffe (bois en cours d'aouètement et bois aouété). Le taux de réussite est très bon quand il n'y a pas de stockage de ce type de matériel, c'est-à-dire dans le cas de prospections en Côte d'Ivoire ou à Madagascar. Dans le cas des prospections à durée limitée (Centrafrique, Kenya), les résultats n'ont jamais été très bons sur l'ensemble des échantillons et souvent très variables d'un échantillon à un autre. Le bouturage d'axes végétatifs verts n'est pas utilisé pour le matériel de prospection.

Sans soin particulier, le pouvoir germinatif des graines de caféier diminue très rapidement. Une étude réalisée en Côte d'Ivoire par COUTURON (1980) a permis de mettre au point une méthode de stockage des graines sans perte de pouvoir germinatif: il suffit d'empêcher le dessèchement des graines après un séchage léger en maintenant les échantillons en sacs plastiques fermés.

Nous voyons donc que, pour qu'une prospection aboutisse à la mise en collection du matériel, toute une série de techniques doit être bien assimilée, ce qui suppose des mises au point préalables et ne laisse guère de place à une improvisation sur le terrain.

Nombre de populations et nombre d'échantillons à prospector par population

Le temps passé dans une population pour le prélèvement du matériel peut être considéré comme proportionnel au nombre d'échantillons recueillis. Il est aussi fonction du type de matériel prélevé. Il est plus long de prélever du bois de greffe que d'arracher une plantule ou un jeune plant. Nos prélèvements ont été de l'ordre de 50 à 100 échantillons par population, récoltés en 3 heures environ. Une grande partie de ces échantillons est constituée de plantules et jeunes plants.

Le temps pour accéder à une population de caféiers est souvent long, car il se compose de toute la phase de déplacement pour atteindre la forêt et ensuite de la phase de recherche des populations. Au Kenya il a été prospecté en moyenne une population par jour sur le terrain soit une pour deux jours de mission.

Si on excepte *C. arabica* à reproduction autogame et à variation intrapopulation assez faible, toutes les autres espèces ont des populations à forte variabilité. Pour en avoir un bon échantillonnage, il convient de prélever un nombre de représentants suffisant par population. Une prospection plus rapide de chacune des populations repérées, en diminuant le nombre d'échantillons prélevés par population, ne libérerait que peu de temps pour trouver de nouvelles populations.

Ces considérations montrent qu'il y a lieu d'approfondir la prospection des populations découvertes plutôt que d'essayer de multiplier le nombre des populations prospectées, ceci évidemment dans le cas d'un temps de travail limité par la durée de la mission. Nous ne disposons pas de données suffisamment précises pour établir un calcul du type de celui proposé par MARSHALL et BROWN (1974).

6. La préparation du matériel ; le transport

Des soins apportés à la préparation du matériel dépendent ses chances de survie et donc la réussite de la mise en collection. Dès la récolte, sur l'emplacement de la population les bois de greffe et les jeunes plants sont mis en sac plastique pour éviter tout dessèchement. Si la récolte a lieu aux heures chaudes de la journée ou pendant une période particulièrement sèche, on réhumidifie l'atmosphère des sacs avec un petit pulvérisateur à main. L'ensemble est ensuite placé dans des conteneurs isothermes (glacières) pour éviter les variations importantes de température, surtout pendant les transports automobiles. Avec cette technique il est possible de conserver du bois de greffe pendant plusieurs semaines. La conservation dépend de l'état du matériel récolté et de l'espèce considérée.

Les graines récoltées sont conservées en parche. Entre la récolte et la conservation, trois opérations sont nécessaires : le dépulpage, la démucilagination et le séchage. Ces opérations ne se font jamais sur les lieux de prélèvement mais en fin de journée. La première opération peut être réalisée à la main, mais dès que le nombre d'échantillons augmente, elle devient très longue et constitue une limitation aux possibilités de cueillette. Les moyens mécaniques habituellement utilisés dans les plantations ne conviennent que pour des quantités de café de plusieurs kilos, aussi avons-nous dû mettre au point une « planche à dépulper ». Cette planche permet d'augmenter le rendement du dépulpage de façon très appréciable et convient pour des échantillons de 200 à 300 fruits, ce qui est la taille moyenne des échantillons récoltés en prospection.

La deuxième opération, la démucilagination, peut se faire par fermentation 24 heures sous eau ou par trempage pendant 10 minutes dans une solution de soude à 1%. Ces deux méthodes sont utilisées selon les disponibilités en temps.

Le séchage se fait dans des séchoirs contenant chacun un échantillon. Ils sont emboîtables pour pouvoir être superposés pendant le transport automobile et éviter ainsi les mélanges entre échantillons. Après le séchage de 24 à 48 heures les graines sont stockées en sacs plastiques étanches placés dans un conteneur isotherme. Avant expédition, tous les échantillons sont traités avec fongicides et insecticides pour éviter toute exportation de parasite d'un pays vers un autre.

7. La mise en quarantaine — Les risques potentiels suivant l'origine et la nature du matériel végétal

Dans le cas du caféier, le transfert du matériel végétal s'effectue essentiellement sous la forme de graines, de plantules et de boutures.

Les graines représentent sans doute le type de matériel le plus sûr sur le plan sanitaire. L'élimination, dès la récolte, des cerises infectées, le dépulpage, le séchage puis la désinfection superficielle de la graine en parche permettent de réduire considérablement les risques de dissémination des parasites des baies, tel que *Colletotrichum coffeanum* ou *Fusarium* sp. et d'éliminer les spores d'autres parasites du caféier : *Hemileia vastatrix*, *Cercospora coffeicola*, pouvant polluer superficiellement les fruits. Apparemment, aucune maladie cryptogamique importante ne semble transmise par la graine. Les risques encourus concernent essentiellement le transport d'insectes à l'intérieur des graines.

Les boutures constituent un matériel susceptible d'héberger de nombreux parasites externes et internes. L'origine africaine presque exclusive du matériel de prospection nous conduit à considérer plus particulièrement les parasites existant sur ce continent. Parmi les champignons pathogènes, plusieurs souches de *Colletotrichum* peuvent être présentes sur boutures à l'état latent ou infectieux : *C. coffeanum* var. *virulens*, souche pathogène spécifique de l'antracnose des baies ainsi que les souches de *C. coffeanum* et *C. gloesporoides* agents du « die-back » des rameaux et de l'antracnose des feuilles. Plusieurs espèces de *Fusarium* peuvent également être hébergées par les boutures : *F. equiseti* décrit en centrafricain sur *C. arabica* et *C. canephora* parasite des baies, *F. stilboides* signalé en Afrique de l'Est, et *F. xylarioides* agent de trachéomycose.

Le problème se pose aussi de façon importante pour les insectes : borers et cochenilles principalement.

Les plantules présentent potentiellement les mêmes risques de contamination que les boutures. S'y ajoutent les parasites de racines, pourriés, *Fusarium* sp.) et les microorganismes du sol susceptibles d'être véhiculés à la surface des racines (bactéries, champignons et nématodes) qui peuvent présenter un danger pour d'autres plantes que le caféier. Enfin, les principaux parasites foliaires des plantules sont les rouilles *Hemileia vastatrix*, *H. coffeicola*.

Le transfert et la quarantaine

À l'issue d'une prospection, le matériel collecté est tout d'abord soigneusement examiné afin d'éliminer tout échantillon présentant des symptômes quelconques d'infection. Ce principe fondamental doit être respecté afin de prévenir tout risque de dissémination d'une part, et d'autre part de garantir les meilleures conditions de conservation et de reprise du matériel.

Avant expédition, chaque échantillon subit un traitement insecticide par pulvérisation ou trempage afin d'éliminer les œufs, larves ou adultes d'insectes présents à la surface des tissus végétaux. De même, un traitement fongicide de contact permettra de détruire spores et mycélium de champignons. Le matériel est ensuite emballé en sacs plastiques clos puis placé en conteneurs fermés pour l'expédition.

Le lieu de quarantaine où sont acheminés les échantillons collectés a été choisi de telle sorte que les risques d'introduction de parasites ou rava-

geurs soient nuls. Ainsi, la station de quarantaine des caféiers collectés en Ethiopie par les différentes missions FAO est située à Gleen Dale aux U.S.A. Les caféiers collectés lors de la mission ORSTOM au Kenya en 1977 ont été réunis en France à Montpellier. Dans tous les cas, la quarantaine doit avoir lieu hors des zones de caféiculture.

Dès réception, le matériel est introduit en serre de quarantaine dont les caractéristiques ont été précisées par ailleurs. Graines et boutures, après examen par un spécialiste, sont installées en bacs de germination sur un substrat stérile et maintenues pendant plusieurs jours dans une atmosphère humide proche de la saturation afin d'assurer la reprise de végétation et de favoriser le développement d'éventuels parasites. En ce qui concerne les plantules pourvues de leur système racinaire, la greffe, quand elle est possible, permet d'éliminer les racines et d'éviter les contaminations par les parasites du sol.

Après 4 à 5 semaines de quarantaine, les conditions de milieu étant favorables au développement des champignons pathogènes, toute présence d'*Hemileia vastatrix*, de *Colletotrichum coffeanum* et de *Cercospora coffeicola* en particulier doit être décelable. Après diagnostic, les plants présentant des symptômes d'infection sont traités à l'aide de fongicides appropriés, les plants morts sont détruits par incinération. Des pulvérisations régulières d'insecticides permettent en outre d'assurer une protection optimale contre les insectes provenant soit du matériel lui-même soit éventuellement et fortuitement du milieu extérieur.

Dans le cas du caféier, une quarantaine de 6 mois à 1 an semble offrir de bonnes garanties pour l'exportation du matériel et son exploitation avec le minimum de risques sur le plan sanitaire.

Une seconde quarantaine, de durée plus brève, en conditions tropicales, sur les lieux mêmes où le matériel sera exploité, permettra d'effectuer un contrôle définitif.

Notons cependant que les quarantaines peuvent être des occasions de plus de disparition de matériel, même sain, du fait d'accidents au cours de repiquages et de l'entretien des jeunes plants. Il faut donc limiter ces quarantaines aux seuls cas indispensables.

8. Le rapport de prospection

Il nous paraît important d'insister sur le rapport de prospection. Les utilisateurs du matériel végétal doivent pouvoir disposer des informations les plus complètes possibles sur celui-ci.

Nous proposons les subdivisions suivantes :

1. Itinéraire: pour situer les stations prospectées, permettant éventuellement de retourner sur celles-ci.
2. Description des stations à caféiers
 - position géographique
 - type de forêts
 - matériel récolté et relation entre les différents échantillons
3. Liste du matériel récolté par espèce ou groupe d'espèces.
4. observations sur les populations: pour situer quelques problèmes à résoudre par les utilisateurs au cours de leurs analyses.

Il nous a souvent été difficile de retrouver des stations à caféiers car les informations portées sur les étiquettes d'herbier étaient insuffisantes. Nous

recommandons donc de situer les stations prospectées par leurs coordonnées géographiques précises. Le report des stations peut être alors fait sur les cartes, quelle qu'en soit l'échelle.

Les échantillons prélevés au cours de la prospection portent tous un numéro permettant leur identification. Le but de cette numérotation est de pouvoir retrouver la provenance du matériel (station, région...), de connaître le type de matériel collecté (graines, plantules, jeunes plants...), et de fournir des indications sur les relations entre les différents échantillons (par exemple K 050: numéro du lot de graines récoltées sur le *C. eugenioides* n° K 049 dans la Kambiri forest dont la position est la suivante: Est = 34°54' Nord 00°22' — Altitude: 1650 m — Nord de la Kakamega forest — 20 km au N.E. de Kakamega, Kakamega district — Western province, d'après le rapport prospection Kenya). Le numéro de l'échantillon est affecté au sac de graines, non à chaque plantule provenant de ces graines.

L'identification en collection est obligatoirement une identification génotype par génotype, d'autant qu'avec les possibilités de la multiplication végétative, il est fort possible qu'un même génotype soit représenté par plusieurs arbres.

On voit donc qu'il n'y a pas correspondance entre les deux identifications successives. Pour éviter un changement complet de numérotation entre la prospection et la mise en collection nous avons utilisé le système suivant: pour un lot de graines par exemple:

- Prospection: K 050: lot de graines récoltées sur le *C. eugenioides* K 049

- Collection: K 050-01, K 050-02, K 050-03 plants provenant du lot de graines récoltées sur le K 049.

Ce système permet la multiplication végétative de n'importe quelle plante et conserve la numérotation de départ et donc l'accès à toutes les informations du rapport de prospection.

C. UN EXEMPLE DE PROSPECTION DES CAFÉIERS SPONTANÉS (KENYA)

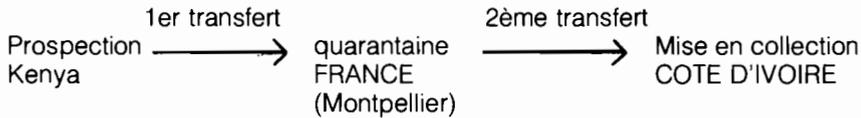
Le but principal de la mission était de collecter du matériel de *C. eugenioides*, espèce présumée voisine de *C. arabica*, que l'on savait avoir des faibles teneurs en caféine (A. CHARRIER, J. BERTHAUD, 1975) et intervenir dans certains croisements intéressants (J. LOUARN, 1976). Au départ cette prospection devait recouvrir Ruanda et Burundi, ce qui ne s'est pas avéré possible matériellement. Nous avons mis à profit cette mission pour ramener des caféiers de la section des *Mozambicoffea* très rares en collection et généralement assez mal connus sur le vivant. Nous retenons cette prospection comme exemple car elle réunit un ensemble de conditions favorables.

— le réseau routier très développé permet d'avoir un accès rapide aux différentes forêts à prospecter,

— les liaisons aériennes directes et fréquentes avec l'extérieur facilitent l'expédition du matériel végétal,

— la situation de la capitale au centre du pays permet de rayonner à partir de celle-ci et d'expédier le matériel après chacune des bouches de prospection. On évite ainsi un long stockage entre le moment de la récolte et celui de sa mise en pépinière en station de quarantaine. Il en résulte des chances supérieures de reprise du matériel.

L'organisation de la prospection correspondait au schéma proposé, à savoir:



Réalisation pratique

La recherche dans les herbiers européens (Kew et Meise) puis dans celui de l'Afrique de l'est à Nairobi a permis de nous rendre compte du nombre d'espèces existantes au Kenya (*C. arabica*, *C. eugenioides*, *C. zanguebariæ* et *C. fadenii*) et de leur localisation géographique. L'espèce *C. zanguebariæ* est une espèce qui n'est pratiquement représentée dans aucune collection. L'espèce *C. fadenii* avait été récoltée par FADEN et FADEN en 1972 (East African herbarium n° 72/269). (Voir note infrapaginale p. 71).

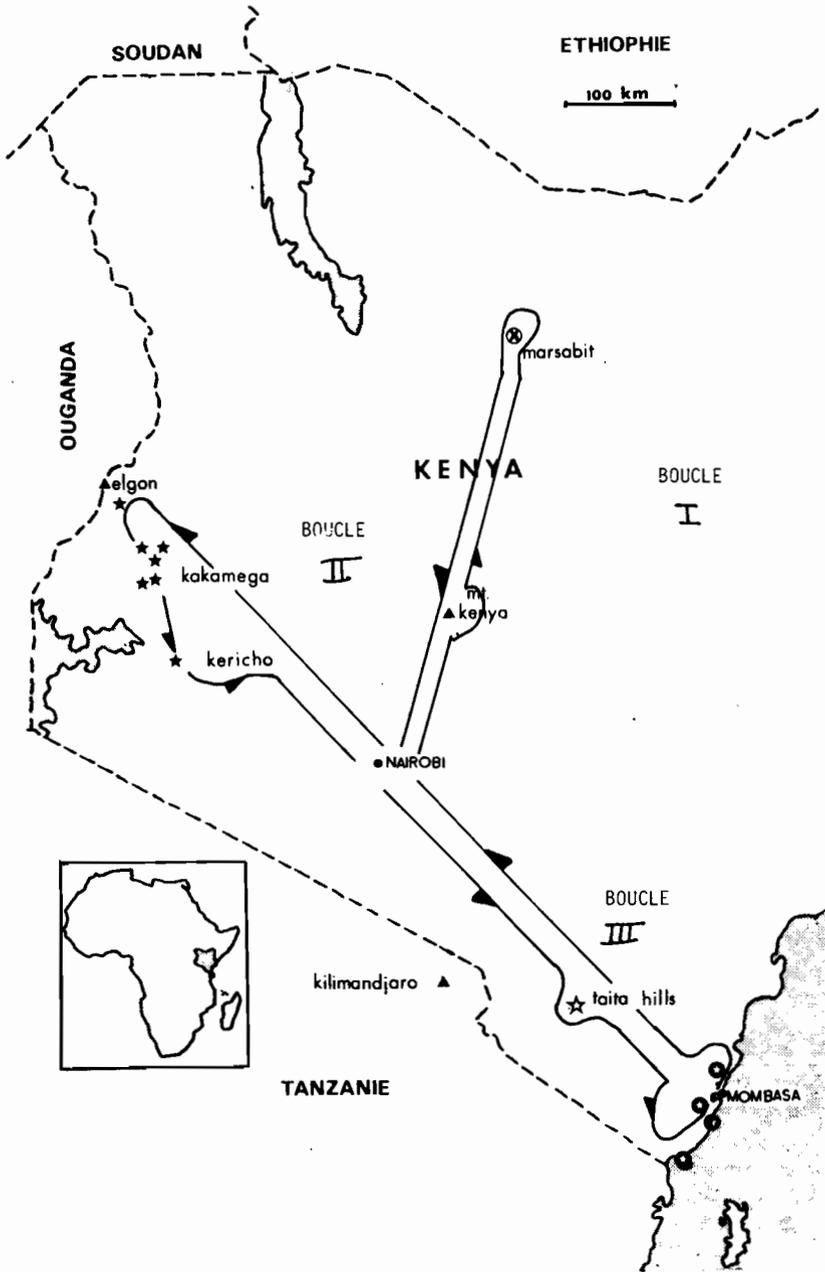
A la suite de ces observations un itinéraire a été choisi. Il correspond à une série de 3 boucles: (fig. 16).

- *boucle 1*: vers le Nord pour prospector le *C. arabica* au Mont Marsabit (c'est la réserve forestière la plus proche de l'Ethiopie) et le *C. euaenioides* sur les flancs du Mont Kenya
- *boucle 2*: à l'Ouest vers les bords du Lac Victoria et les flancs du Mont Eigon pour le *C. eugenioides*
- *boucle 3*: vers le Sud pour récolter *C. ind* et *C. zanguebariæ* le long de la côte.

Le Tableau 15 permet de se rendre compte du temps réellement disponible pour la prospection par rapport à la durée totale de la mission. En partie à cause des grandes distances, on voit que le nombre de jours de prospection ne correspond en fait qu'à la moitié du nombre de jours de la mission, malgré toutes les situations favorables déjà décrites. On remarquera que, en moyenne, il a été prospecté une station par jour. A ce propos nous donnons une estimation en temps pour la prospection d'une population:

— déplacement pour « approche » de la population, automobile et marche à pied	1 à 3 heures
— observations et récolte d'échantillons (si la population a été trouvée)	3 heures
— traitement des échantillons en fin de journée (15 à 30 mn par échantillon)	2 heures

Si deux populations sont trouvées dans la même journée cela correspond à une dizaine d'heures de travail.



Situation géographique des cafiers récoltés au Kenya

Figure 16: Itinéraire de repérage et de collectes de la prospection des cafés spontanés.

- ⊗ *Coffea arabica*
- ★ *C. eugenioides*
- *C. zanguebariæ*
- ☆ *C. fadenii*

TABLEAU 15

Bilan de la prospection des caféiers spontanés Kenya-Janvier-Février 1977.

	Boucle 1	Boucle 2	Boucle 3	TOTAL
Nombre de jours prospection	5	5	4	14
Nombre de jours pour déplacements	2	2	2	6
Nombre de jours pour expédition des échantillons		2	1	3
Nombre de jours pour formalités administratives	3	1	1	5
TOTAL	10	10	8	28
Nombre de kilomètres parcourus	1500	2000	2000	5500
Nombre de stations prospectées	1	7	4	12
Nombre d'échantillons récoltés	6	63	42	111

Résultats

Cette prospection au Kenya nous a permis de nous rendre compte que des stations à caféiers décrites il y a quelques dizaines d'années avaient disparu. En fait ces caféiers (*C. eugenoides*) avaient été trouvés dans des zones d'exploitations forestières et ont disparu en même temps que la forêt. Au cours de notre prospection nous avons pu récolter du matériel sur des populations en voie de disparition selon les mêmes modalités.

Par contre grâce aux nouvelles routes créées nous avons eu accès à la population de caféiers des Taïta hills, dans un îlot forestier, conservé comme réserve. Cette espèce, indéterminée, n'était connue que par un seul échantillon d'herbier. Le collecteur notait déjà qu'il s'agissait vraisemblablement d'une espèce nouvelle ce que semble confirmer nos récentes observations*.

Au total nous avons pu récolter 111 échantillons appartenant à 4 espèces différentes de caféiers. La collection en Côte d'Ivoire, après le passage en quarantaine de ce matériel, est constituée de plusieurs centaines de génotypes différents par espèce de caféiers, la variabilité de ce matériel recouvre celle existante dans les conditions naturelles au Kenya.

Une telle prospection met en évidence l'urgence des récoltes des caféiers sauvages voués, dans de nombreux cas, à une disparition prochaine. Par ailleurs, les moyens à mettre en œuvre pour sauver ces ressources génétiques naturelles devront être importants sous peine d'inefficacité (BERTHAUD et al., 1980).

* Cette espèce n'a été décrite sous le nom de *C. fadenii* par D. BRIDSON que depuis 1982.

D. BILAN DES PROSPECTIONS

Nous présentons dans le Tableau 16 le bilan des prospections récentes de caféiers réalisées par l'ORSTOM et l'IFCC. Vu le schéma de prospection adopté en Ethiopie, il ne nous est pas possible de donner le nombre de populations de *C. arabica*, l'échantillonnage ayant plus porté sur des arbres pris individuellement que sur des populations, mais le nombre de points de prélèvement est élevé et se situe entre 40 et 50. Le nombre d'échantillons donné dans le tableau correspond au nombre d'échantillons ramenés de prospection, un échantillon pouvant être aussi bien un lot de graines qu'une bouture. Il n'y a donc qu'une correspondance lâche entre le nombre d'échantillons prospectés et le nombre d'arbres en collection. Au total, les collectifs installés en Côte d'Ivoire avec ce matériel, renferment 10.000 arbres environ couvrant une superficie de 4 hectares.

Les *Mascarocoffea* sont en collection à la station de KIANJAVATO (Madagascar) (10.000 caféiers, 43 espèces, 5 hectares).

En comparant les zones prospectées aux aires de répartition des caféiers (Fig. 14), il est possible de tirer les remarques suivantes.

Nous disposons actuellement de matériel végétal provenant des différentes zones géographiques. Des prospections complémentaires sont toutefois nécessaires. Les pays retenus en priorité sont le Cameroun et la Tanzanie. Le premier se situe au centre de l'aire *C. canephora* et *C. liberica* et en plus on y trouve plusieurs espèces paraissant endémiques à ce pays.

TABLEAU 16

Bilan des prospections récentes de caféiers en Afrique et à Madagascar.

Pays prospecté	Espèces prospectées	Nombre de populations	Nombre d'échantillons
Ethiopie 1966	<i>C. arabica</i>	—	60
Centrafrique 1975	<i>C. canephora</i>	3	18
	<i>C. congensis</i>	6	123
	<i>C. liberica</i>	20	289
	<i>C. de la Nana</i>	1	27
Kenya 1977	<i>C. arabica</i>	1	6
	<i>C. eugenioides</i>	7	61
	<i>C. zanguebariæ</i>	4	44
	<i>C. fadenii</i>	1	3
Côte d'Ivoire 1975-1980	<i>C. canephora</i>	8	160
	<i>C. humilis</i>	6	440
	<i>C. liberica</i>	11	250
	<i>C. stenophylla</i>	4	146
TOTAL	10 espèces	72	1.627
Madagascar 1960-1974	<i>Mascarocoffea</i> <i>C. sp</i> 43 espèces	172	

La Tanzanie offre l'intérêt de présenter des formes de passage entre différentes espèces:

C. zanguebariæ — *C. racemosa*

C. zanguebariæ — *C. eugenioides*

et entre les caféiers africains et les caféiers malgaches.

III. LES COLLECTIONS

A. LA MISE EN PLACE DES COLLECTIONS

Les problèmes de la mise en place d'une collection vivante de caféiers sont de deux ordres:

— un problème de surface:

En effet, le caféier est un arbuste qui pour se développer nécessite une surface minimum: selon l'espèce de 1 à 10 m² par individu. Le nombre d'individus à mettre en place dépendra donc des superficies disponibles ou autrement dit du financement attribué à ce type d'opération. Les engagements de dépenses doivent être prévus pour plusieurs années. Les frais occasionnés par l'entretien sont proportionnels au nombre d'arbres plantés.

Le travail de «sauvetage» ne se termine pas à la mise en place de la collection. A partir de ce moment il faut assurer la survie de tous les arbres installés, c'est-à-dire surveillance intensive, remise en multiplication des arbres parasités ou détruits par des accidents divers. La pérennité des caféiers supprime par contre la nécessité d'un renouvellement rapide des arbres. On peut penser qu'une fois installés les arbres peuvent rester en collection 30 ou 50 ans avant qu'il soit nécessaire de refaire un nouveau greffage de ces plantes.

— les problèmes d'ordre technique:

Les caféiers prospectés proviennent de zones écologiques très différentes: de la zone côtière (et récifs coralliens) pour le *C. zanguebariæ* jusqu'aux zones d'altitude: *C. eugenioides* ou *C. arabica*. En outre chaque espèce a une plasticité particulière ou si on préfère une adaptabilité différente.

Le choix du lieu de la collection est souvent lié à celui de la station de recherche sur les caféiers quand elle existe. Elle permet de bénéficier de toute une infrastructure mais elle ne correspond peut-être pas à la zone écologique idéale pour tous les types de caféiers. En Côte d'Ivoire ce problème a pu être résolu par l'implantation des collections en deux sites bien distincts du point de vue climatique: à la station centrale de l'IFCC à

Divo pour les caféiers de basse altitude, à Man au Mont Tonkoui à 1100 m pour les caféiers d'altitude.

Un problème technique demeure tout de même, qui consiste à réunir en un même lieu, à Divo par exemple, des plantes très différentes et à leur assurer des chances maximales de survie.

Des espèces très plastiques comme *C. canephora*, *C. liberica* ne semblent pas poser de problèmes; d'autres, par contre, ont des problèmes d'adaptation au sol (*C. congensis*) ou d'adaptation au climat (*C. fadenii*), ou une vigueur très faible avec une extrême sensibilité aux parasites (*C. humilis*).

La méthode retenue (LE PIERRES, 1977) consiste à implanter la collection sous forêt aménagée, c'est-à-dire, dans une forêt primaire d'où le sous-bois a été éliminé. Cela permet d'obtenir un milieu très tamponné vis-à-vis des aléas climatiques. Dans ce milieu, les caféiers ont une croissance ralentie, une tendance à « filer » et ne fleurissent que très peu. Sans forêt aménageable disponible, des parcelles fortement ombragées pourraient être préparées. Il convient tout de même de prévoir l'établissement de ce type de parcelles plusieurs années avant la prospection.

Les plantes installées dans ces collections sont greffées sur porte greffe bien adaptés aux conditions pédoclimatiques locales. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, c'est le *C. canephora* qui est utilisé. Le résultat est spectaculaire avec l'espèce *C. congensis* car seuls les plants greffés survivent après plantation en champ. Les plants « franc de pied » après un développement normal se montrent chlorotiques et meurent à plus ou moins brève échéance. Par contre, même greffée l'espèce *C. fadenii* ramenée du Kenya ne montre qu'un développement ralenti et anormal, alors que, dans son site d'origine, cette espèce a un développement important et que le plus grand caféier trouvé en prospection provient de ce peuplement (35 cm de diamètre, 20 mètres de hauteur).

B. LES COLLECTIONS D'ÉTUDE

La mise en place des collections de conservation a pour principal objectif de sauvegarder le matériel. Les conditions dans lesquelles il est placé ne sont favorables ni à la floraison ni à la fructification. En outre la mise en place se fait dans un milieu qui est loin d'être homogène. Des notations de type biométrique n'auraient que peu de valeur du fait de l'impossibilité d'une analyse statistique des résultats. Aussi l'évaluation et l'utilisation du matériel végétal sont-elles entreprises sur des collections d'un autre type: il s'agit des collections d'études.

— Chez les caféiers, chaque année, les floraisons sont peu nombreuses. En outre la mise à fleur des caféiers nécessite habituellement de 2 à 4 ans. L'un des facteurs limitant dans l'étude des relations des espèces de caféiers entre elles est le nombre de combinaisons hybrides réalisables chaque année. En constituant des collections d'un petit nombre d'individus des différentes populations prospectées, greffés sur porte greffe vigoureux déjà en place il est possible d'accélérer la mise à fleur et donc d'entreprendre le travail d'hybridation plus rapidement. Ces plantes ayant une croissance plus importante, il est possible d'obtenir un nombre supérieur de

combinaisons hybrides par géniteur utilisé. Il est bien évident que, si l'on dispose d'informations sur les différentes populations, celles-ci devront être utilisées pour le choix des individus à installer dans ce type de collections.

Les informations de type biométrique et les renseignements de type agronomique s'obtiennent à partir de collections ou essais particuliers. Pour cela, les effets du milieu doivent être mesurés (cela est possible si chaque génotype est implanté plusieurs fois dans la même parcelle). Malheureusement, ces essais nécessitent de grandes superficies et un personnel nombreux pour la collecte des données. Ils ne peuvent être envisagés de façon systématique pour toutes les espèces.

Les informations recueillies dans ces collections permettent de modifier les collections de base de façon à diminuer le nombre de plantes de la collection sans perdre pour autant une variabilité importante. Nous verrons dans le prochain chapitre, les techniques utilisées pour l'analyse de la variabilité et des relations entre espèces.

C. GESTION ET ÉCHANGES DES COLLECTIONS

On ne doit pas considérer les collections comme « figées ». En fait les collections ne sont jamais définitives. D'une part un certain nombre d'arbres disparaissent par suite d'accidents divers allant de l'attaque d'insectes jusqu'aux coups de machette au cours du nettoyage des parcelles. Une surveillance constante peut permettre de récupérer à temps des greffons et « sauver » ainsi la plante endommagée. D'autre part chaque prospection apporte son lot d'espèces nouvelles qu'il convient de stocker. Cela suppose des observations quasi permanentes pour trouver la bonne technique pour la conservation de chaque espèce. On dispose de techniques moyennes qu'il convient d'adapter à chaque espèce, en fonction de sa vigueur, de sa possibilité de culture sans ombrage...

On peut considérer qu'il s'agit d'une véritable gestion car il convient de conserver le maximum de variabilité de chaque espèce tout en essayant d'augmenter au maximum le nombre des espèces en collection. Pour cela il est nécessaire de tenir compte de toutes les informations obtenues en aval de la collection par les différentes analyses poursuivies. Toutes ces informations permettent de raisonner le choix des arbres à conserver.

L'enrichissement d'une collection peut se faire aussi par échanges avec d'autres collections. Pour cela il faut disposer de techniques permettant la conservation du matériel pendant les transferts.

Chez les caféiers, les études récentes ont porté sur la conservation des graines et des pollens (VAN DER VOSSSEN, 1978 et WALYARD et al. 1977 au Kenya pour graines et pollens, COUTURON, 1980 en Côte d'Ivoire pour les graines). Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de conserver le pouvoir germinatif des graines au-dessus de 90%, pendant 1 à 2 ans selon les espèces, en les maintenant suffisamment hydratées. Les échanges de graines sont donc parfaitement réalisables.

Les résultats sont aussi encourageants pour la conservation des grains de pollen. En ampoule, sous vide, à -18°, les grains de pollen peuvent se conserver un an environ. Les ampoules doivent être utilisées un mois, au

plus tard après leur sortie du congélateur. Les échanges de pollen de caféiers sont donc envisageables.

Les techniques de conservation du bois de greffe utilisées au cours des prospections sont applicables pour les échanges de matériels entre collections.

On voit donc que l'on dispose de toutes les techniques pour que les échanges entre les différentes collections de caféiers puissent être réalisés dans de bonnes conditions.

IV. L'ÉVALUATION DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

Pour les caféiers, l'évaluation du matériel végétal de prospection a été organisée de la façon suivante:

— *Etude de la variabilité générale**

- Etudes biométriques sur le matériel original
- Etudes biométriques sur les descendances de ces arbres
- Analyse de la variabilité enzymatique et des ADN mitochondriaux
- Tests d'aptitude à la combinaison interspécifique.

Ces études générales permettent de définir les limites du complexe multispécifique des caféiers et la diversité existante. A partir de ces études, on peut décrire les modalités de transfert de gènes d'une espèce à l'autre.

— *Etude de quelques caractéristiques particulières*

Des études complémentaires sont réalisées sur des caractères pouvant intéresser directement la sélection, c'est-à-dire, sur des caractéristiques à transférer en priorité dans des variétés intéressantes. Il s'agit de: la résistance aux maladies: à la rouille, à l'antracnose et de la teneur en caféine

A. ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ GÉNÉRALE

1. Etudes biométriques à partir du matériel de prospection

Plusieurs méthodes permettent une présentation synthétique des résultats de séries d'observations sur un ensemble de plantes. Nous donnerons simplement quelques exemples concernant l'étude des caféiers.

a. Analyse en composantes principales

Les observations ont été faites sur le matériel *C. arabica* en collection provenant des prospections en Ethiopie. Les caractères choisis pour les mesures concernent l'architecture des arbres et ses caractéristiques de croissance. Pour les résultats complets, nous renvoyons à BERTHOU et al. in IFCC, 1978 dont nous extrayons la figure 17.

L'utilisation d'autres caractères permet aussi de classer les arbres selon l'équilibre de leur charpente, c'est-à-dire le rapport entre la croissance des rameaux piagiotropes et rameaux orthotropes. Ainsi, on distingue les arbres à croissance orthotrope préférentielle (port en candélabre) des arbres

* Les méthodologies statistiques employées ici sont décrites Partie II chapitre III.

ayant des rameaux plagiotropes bien développés et en général meilleurs producteurs*.

Les origines ayant une provenance identique sont reliées entre elles sur la figure présentée. On peut voir apparaître une différenciation géographique des origines prospectées.

Nous ne présentons qu'une figure, mais l'analyse en composantes principales permet d'obtenir une projection, sur un système d'axes, des points correspondants aux différents arbres mesurés.

b. Utilisation d'un indice de proximité pour étudier les différences entre origines

L'étude de la variabilité de la collection *C. arabica* à partir de variables qualitatives a été faite de la façon suivante (BERTHAUD, PERNES, in I.F.C.C., 1978).

Sur les arbres de la collection du Tonkoui, trente caractères ont été notés; certains reprennent sous forme codée des caractéristiques qualitatives liées au développement végétatif; les autres caractères apportent des informations nouvelles sur l'aspect des feuilles et des fruits. Nous donnons dans le tableau 17 la liste des caractères et leur notation.

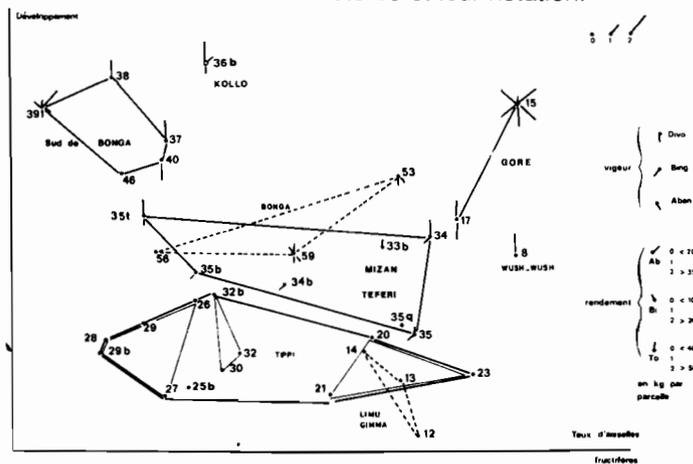


Figure 17: Données d'une analyse en composantes principales à partir de 5 caractères. Les deux premiers axes qui servent à la représentation ci-dessus peuvent avoir les interprétations qualitatives suivantes:

abscisses: taux de rendements fructifères (prépondérance du caractère de la variable 5 dans le sens positif, et de la variable 3 dans le sens négatif.

ordonnées: aspect global du développement, valeur positive indiquée équivalente pour les 5 variables.

Chaque point est orné des symboles définis dans la légende ce qui permet de visualiser les origines les plus intéressantes du point de vue vigueur à la production (notamment les origines 15 et 36b). Les origines sont repérées par leur numéro (BERTHOU et al., in I.F.C.C., 1978).

* Il est bien évident que les progrès dans les moyens de calcul de faibles dimensions permettraient maintenant d'analyser simultanément davantage de caractères. Il est pédagogiquement intéressant de montrer comment, en l'absence de moyens de calcul puissants, il est malgré tout possible d'acquérir, de proche en proche, des descriptions satisfaisantes.

TABLEAU 17

Caractères qualitatifs et leurs notations (BERTHAUD et al. in I.F.C.C., 1978)

Aspect	Caractère	Notation		
		0	1	
Aspect général	1 - Hauteur (m)	$\frac{< 1,5}{0} \mid \frac{1,5 - 2}{1} \mid \frac{2 - 2,5}{2} \mid \frac{2,5 - 3}{3} \mid \frac{3 - 3,5}{4}$		
	2 - Diamètre au collet (cm)	$\frac{< 6}{0} \mid \frac{6 - 10}{1} \mid \frac{10 - 15}{2} \mid \frac{15 - 20}{3}$		
	3 - Nombre de tiges	$\frac{1}{0} \mid \frac{2 - 3}{1} \mid \frac{4}{2}$		
	4 - Port érigé	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
	5 - Angle de ramification	$\frac{\text{ouvert}}{0} \mid \frac{\text{fermé}}{1}$		
	6 - Diamètre du rameau plagiotrope	$\frac{\text{fin}}{0} \mid \frac{\text{épais}}{1}$		
	7 - Equilibre orthotrope-plagiotrope	$\frac{\text{ortho}}{0} \mid \frac{\text{ortho} = \text{ortho}}{1}$		
	8 - Nombre de rameaux plagiotropes	$\frac{\text{peu}}{0} \mid \frac{\text{beaucoup}}{1}$		
	9 - Nombre de feuilles sur le rameau plagiotrope	$\frac{\text{peu}}{0} \mid \frac{\text{beaucoup}}{1}$		
	10 - Dimension de l'entre-nœud	$\frac{\text{court}}{0} \mid \frac{\text{long}}{1}$		
	11 - Nombreuses ramifications sur plagiotrope	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
Feuilles	12 - Couleur	$\frac{\text{vert}}{0} \mid \frac{\text{jaune}}{1} \mid \frac{\text{vert}}{2} \mid \frac{\text{vert-noir}}{3}$		
	13 - Dimensions (taille)	$\frac{\text{petites}}{0} \mid \frac{\text{moyennes}}{1} \mid \frac{\text{grandes}}{2}$		
	14 - Forme L/l	$\frac{\text{ovale}}{0} \mid \frac{\text{large}}{1} \mid \frac{\text{elliptique}}{2} \mid \frac{\text{allongé}}{3}$		
	15 - Port	$\frac{\text{horizontales}}{0} \mid \frac{\text{pendantes}}{1}$		
	16 - Bord ondulé	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
	17 - Surface gaufrée	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
	Fruites	18 - Fructification sur le vieux bois	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$	
		19 - Longueur du pédoncule	$\frac{\text{court}}{0} \mid \frac{\text{long}}{1}$	
		20 - Maturité groupe	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$	
		21 - Précocité de la maturité	$\frac{\text{précoce}}{0} \mid \frac{\text{normale}}{1} \mid \frac{\text{tardive}}{2}$	
22 - Couleur à maturité		$\frac{\text{orange}}{0} \mid \frac{\text{vermillon}}{1} \mid \frac{\text{pourpre}}{2}$		
23 - Aspect de la coloration en cours de maturation		$\frac{\text{uni}}{0} \mid \frac{\text{veiné}}{1}$		
24 - Profil symétrique		$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
25 - Rapport diamètre/hauteur		$\frac{< 1}{0} \mid \frac{1}{1} \mid \frac{1}{2} \mid \frac{1}{3} \mid \frac{1}{4} \mid \frac{1}{5} \mid \frac{1}{6} \mid \frac{1}{7} \mid \frac{1}{8} \mid \frac{1}{9} \mid \frac{1}{10} \mid \frac{1}{11} \mid \frac{1}{12} \mid \frac{1}{13} \mid \frac{1}{14} \mid \frac{1}{15} \mid \frac{1}{16} \mid \frac{1}{17} \mid \frac{1}{18} \mid \frac{1}{19} \mid \frac{1}{20} \mid \frac{1}{21} \mid \frac{1}{22} \mid \frac{1}{23} \mid \frac{1}{24} \mid \frac{1}{25} \mid \frac{1}{26} \mid \frac{1}{27} \mid \frac{1}{28} \mid \frac{1}{29} \mid \frac{1}{30} \mid \frac{1}{31} \mid \frac{1}{32} \mid \frac{1}{33} \mid \frac{1}{34} \mid \frac{1}{35} \mid \frac{1}{36} \mid \frac{1}{37} \mid \frac{1}{38} \mid \frac{1}{39} \mid \frac{1}{40} \mid \frac{1}{41} \mid \frac{1}{42} \mid \frac{1}{43} \mid \frac{1}{44} \mid \frac{1}{45} \mid \frac{1}{46} \mid \frac{1}{47} \mid \frac{1}{48} \mid \frac{1}{49} \mid \frac{1}{50} \mid \frac{1}{51} \mid \frac{1}{52} \mid \frac{1}{53} \mid \frac{1}{54} \mid \frac{1}{55} \mid \frac{1}{56} \mid \frac{1}{57} \mid \frac{1}{58} \mid \frac{1}{59} \mid \frac{1}{60} \mid \frac{1}{61} \mid \frac{1}{62} \mid \frac{1}{63} \mid \frac{1}{64} \mid \frac{1}{65} \mid \frac{1}{66} \mid \frac{1}{67} \mid \frac{1}{68} \mid \frac{1}{69} \mid \frac{1}{70} \mid \frac{1}{71} \mid \frac{1}{72} \mid \frac{1}{73} \mid \frac{1}{74} \mid \frac{1}{75} \mid \frac{1}{76} \mid \frac{1}{77} \mid \frac{1}{78} \mid \frac{1}{79} \mid \frac{1}{80} \mid \frac{1}{81} \mid \frac{1}{82} \mid \frac{1}{83} \mid \frac{1}{84} \mid \frac{1}{85} \mid \frac{1}{86} \mid \frac{1}{87} \mid \frac{1}{88} \mid \frac{1}{89} \mid \frac{1}{90} \mid \frac{1}{91} \mid \frac{1}{92} \mid \frac{1}{93} \mid \frac{1}{94} \mid \frac{1}{95} \mid \frac{1}{96} \mid \frac{1}{97} \mid \frac{1}{98} \mid \frac{1}{99} \mid \frac{1}{100}$		
26 - Section		$\frac{\text{circu-}}{0} \mid \frac{\text{ovale}}{1} \mid \frac{\text{rectan-}}{2} \mid \frac{\text{en huit}}{3}$		
27 - Dimensions (taille)		$\frac{\text{petits}}{0} \mid \frac{\text{moyens}}{1} \mid \frac{\text{grands}}{2}$		
28 - Drapeau - saillant		$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
29 - Drapeau - taille		$\frac{\text{petit}}{0} \mid \frac{\text{grand}}{1}$		
30 - Drapeau - sépales persistants		$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		

L'indice de similitude utilisé est le suivant :

$$r_{ij} = \frac{m_{ij}}{n}$$

où « n » est le nombre de caractères observés et « m_{ij} » le nombre de caractères qui ont le même état dans les origines i et j. Dans cette première analyse, quand pour une origine il existe une diversité pour un caractère, seul un type est utilisé pour représenter l'origine, et c'est bien entendu le même dans toutes les comparaisons. Les valeurs des ressemblances des origines notées sont données dans le tableau 18.

Les origines analysées ici sont celles dont l'étude des descendance en pollinisation libre est réalisée dans la troisième partie. L'origine 5 est représentée par un hors-type très particulier.

TABLEAU 18

Indices de similitude r_{ij} exprimés en pourcentage entre dix-sept origines éthiopiennes de *C. arabica* (BERTHAUD et al., in I.F.C.C., 1978-).

Ar	6	8	13	15	17	20	21	23	26	27	29	30	32	34	35	40	Origine
64	48	64	64	56	52	32	48	44	52,2	52	45,8	48	43,8	52	45,8	Ar 5	
	64	72	68	56	64	56	48	48	56,5	48	54,2	54	39,1	52	50	Ar 6	
		80	68	64	64	56	52	60	56,5	52	45,8	68	47,8	68	50	Ar 8	
			80	68	60	48	40	64	56,5	56	33,3	56	60,9	76	58,3	Ar 13	
				88	72	52	60	52	78,3	52	58,3	60	60,9	68	54,2	Ar 15	
					76	52	64	56	65,2	48	62,5	52	56,5	56	41,7	Ar 17	
						56	60	56	60,9	64	62,5	64	47,8	48	33,3	Ar 20	
							60	60	60,9	52	70,8	64	47,8	30	62,5	Ar 21	
								52	73,9	60	79,2	68	52,2	52	62,5	Ar 23	
									47,8	84	58,3	64	52,2	60	50	Ar 26	
										60,9	73,9	60,9	66,7	69,6	68,2	Ar 27	
											58,3	68	47,8	60	50	Ar 29	
												70,8	54,5	58,3	69,6	Ar 30	
													39,1	60	50	Ar 32	
														73,9	69,6	Ar 34	
															79,2	Ar 35	

La figure 18 donne la classification obtenue par dendrogramme. Cette classification est à comparer avec les caractéristiques de différenciation phénotypique notées à partir des analyses en composantes principales précédentes.

1) On retrouve un certain regroupement géographique, soit étroit: Goré (15 et 17), les sous-groupes de Tippi-Aéroport (21-23-30-32) et Tippi-Goré (26 et 29), Mizan-Teferi (34 et 35), soit large: opposition de l'ensemble des prospections nord et est (Wush-Wush et Limu-Gimma) au groupe de Tippi, Mizan-Teferi.

Cette dernière opposition coïncide avec la délimitation entre les origines faiblement productives (Tippi, Mizan-Teferi) et celles où des productions intéressantes, plus directement exploitables, ont été enregistrées.

2) Dans une même zone, il est possible d'obtenir une diversité assez large. Ainsi le groupe de Tippi et les formes de Wush-Wush (8-40) qui s'étaient également largement dans les graphiques des composantes principales du chapitre précédent (fig. 17) sont remarquablement différenciées. La présence de hors-types dans la provenance 5 est aussi l'expression de cette diversité.

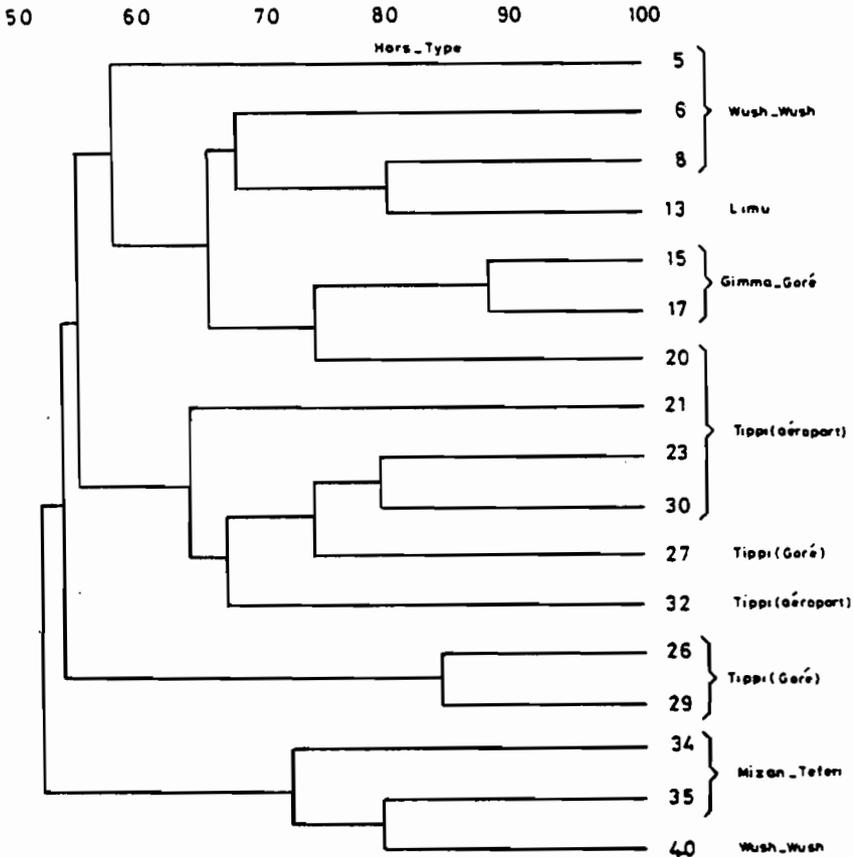


Figure 18 : Classification des origines éthiopiennes lues sur le dendrogramme. (BERTHAUD et al. in I.F.C.C., 1978).

2. Etudes biométriques des descendance des arbres en collection

La technique utilisée est celle de l'analyse de variance hiérarchisée. Cette méthode peut être employée chaque fois qu'il existe plusieurs niveaux de comparaison: comparaison entre populations, comparaison entre arbres d'une même population, comparaison entre les descendants d'arbres d'une population. Cette méthode a été appliquée à *C. arabica*. Nous ne disposons pas vraiment de populations différentes mais d'échantillons provenant de différentes régions d'Ethiopie. Nous appelons « origine » l'échantillon de graines récoltées sur un arbre en prospection. Cette origine est représentée ensuite en collection par les plantes issues de ces graines. Sur une partie de ces plantes on reprend des graines. Les plantules correspondantes sont alors mises en essai en ombrière. Les analyses sont faites à 2 niveaux:

	Matériel	Localisation
niveau 1: origine	plantes provenant des graines récoltées en Ethiopie sur un même arbre	Collection
niveau 2: famille	plantules provenant des graines récoltées sur un même arbre d'une origine	essai sur plantules en ombrière

Les essais ont été réalisés avec 10 à 20 origines différentes et 4 ou 5 familles par origine. Chaque famille est constituée de 20 plantules. Les résultats ont été publiés par REYNIER et par LOUARN in I.F.C.C., 1978. Les caractères mesurés par ce dernier auteur sont:

- la hauteur de l'hypocotyle au moment du repiquage (Hh);
- les délais d'apparition de la troisième paire de feuilles à compter du jour de repiquage (T f3);
- les délais d'apparition de la quatrième paire de feuilles (T f4);
- l'intervalle de temps entre l'apparition de ces deux paires de feuilles ΔT (f4, f3);
- la hauteur foliée (hypocotyle non compris) au moment de l'apparition de la quatrième paire de feuille (H f4);
- la hauteur foliée cent deux jours après le repiquage (H f102);
- le nombre de nœuds cent deux jours après le repiquage (N 102);
- l'accroissement du nombre de nœuds en soixante jours (Δ N60).

Nous présentons quelques-unes de ses conclusions concernant les variations interfamilles: « Les variations interfamilles dans les origines sont pour la plupart très hautement significatives. »

« Les niveaux de signification des différences entre familles sont rassemblés par origine et par caractère dans le tableau 19. D'une façon générale l'hétérogénéité est flagrante pour les trois premiers caractères. Elle se retrouve de façon plus nuancée au niveau:

- des hauteurs foliées et des accroissements de hauteur (6, 13, 20, 29, 36b):



Caféier *C. canephora* en collection à DIVO



C. eugenioides dans la Kimilili forest (Kenya) à 220 m d'altitude

- des accroissements de hauteur et du nombre de nœuds (21, 26),
- des hauteurs foliées (15).

on ne la retrouve pas pour les cinq derniers caractères chez l'origine 23.

L'existence de différences significatives entre familles d'une même origine révèle l'hétérogénéité génotypique des individus constituant ces origines et par voie de conséquence celle des pieds mères récoltés en Ethiopie.

La comparaison des variances dues aux origines, aux familles et aux variations résiduelles est résumée dans le tableau 20. Suivant les caractères, la variance interfamilles représente entre 2/5 et 1/30 de la variance inter-origines. La variabilité liée à l'hétérozygotie n'est donc pas négligeable.»

TABLEAU 19

(LOUARN in I.F.C.C., 1978)

Origine Ar	Hh	Tf ₃	Tf ₄	$\Delta T(f_4, f_3)$	H f ₄	H f ₁₀₂	N ₁₀₂	ΔHf_{60}	ΔN_{60}
6	+++	+++	+	NS	+	+++	NS	++	NS
13	+++	+++	+++	NS	+++	+++	NS	+	+
15	+++	++	+	NS	++	+	NS	NS	NS
20	+	+	NS	NS	+++	+++	NS	+	NS
21	++	+	++	NS	NS	NS	NS	++	+
23	++	+	+++	+	NS	NS	NS	NS	NS
26	++	++	+++	++	NS	NS	NS	+++	+++
29	++	++	+++	++	+++	NS	NS	+++	+++
36b	NS	++	+	NS	+++	NS	++	+++	NS

Niveau de signification des variations entre familles par origine et par caractère. Effet significatif au seuil: + 5%, ++ 1%, +++ 1‰.

TABLEAU 20

Variances interorigines (σ_0^2), interfamilles (σ_f^2) et résiduelles (σ_e^2) — (analyse de variance hiérarchisée Cf. Tome 2).

(LOUARN in I.F.C.C., 1978)

Caractères	Valeurs absolues			% variance totale		
	σ_0^2	σ_f^2	σ_e^2	σ_0^2	σ_f^2	σ_e^2
Hf	37,36	12,41	61,16	33,7	11,2	55,1
Tf3	3,52	0,72	1,63	60,0	12,3	27,7
Tf4	7,62	1,30	1,82	70,9	12,2	16,9
$\Delta T(f_4, f_3)$	0,78	0,04	0,64	53,5	2,7	43,8
Hf4	121,60	13,13	70,79	59,2	6,4	34,4
Hf 102	24,16	9,88	49,98	28,8	11,7	59,5
N 102	0,121	0,004	0,081	58,8	1,9	39,3
ΔHf_{60}	741,08	35,43	170,96	78,2	3,7	18,1
ΔN_{60}	0,17	0,01	0,14	53,1	3,1	43,8

Il est intéressant de voir que dans la variance totale observée une grande part provient de la variance interorigines. La conséquence directe de cette conclusion est que chez l'espèce *C. arabica* il convient de prospecter un nombre d'origines important car la variabilité obtenue dans les descendance ne peut être considérée que comme facteur subsidiaire. C'est une conclusion presque inverse de celle qui est déduite de l'observation des populations d'espèces diploïdes allogames.

Cette méthode qui fait appel à des notions statistiques simples permet d'obtenir des informations intéressantes sur la constitution des populations. Son efficacité est très fortement liée à la valeur du schéma de prospection utilisé; c'est-à-dire en fait à la valeur de l'échantillonnage des populations prospectées.

3. Analyse de la variabilité par des méthodes biochimiques

Le principe de la méthode est exposé dans le tome 2. Chez les caféiers les études ont été menées sur 3 puis 8 enzymes. Il a pu être mis en évidence les zones de variations de chaque espèce. Dans une même espèce certaines bandes se retrouvent très fréquemment (> 90%). Ces bandes sont considérées comme caractéristiques de l'espèce.

D'une espèce à l'autre, la richesse isozymique est différente et ce ne sont pas les mêmes systèmes enzymatiques qui ont la variabilité maximum.

Ces quelques résultats rappelés nous présenterons les types d'études menés chez le caféier à l'aide de cette méthode d'analyse. Les résultats rapportés concernent essentiellement les travaux de BERTHOU (1977, 1980).

a. Etudes qualitatives

1. Recherche de la parenté de *C. arabica*, espèce supposée allopolyploïde. On constate que, pour reconstituer le zymogramme complet de *C. arabica* pour les systèmes Estérases, Malate Déshydrogénase et Phosphatase acide, il faut faire intervenir *C. eugenioides*, d'une part, et le groupe *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica* d'autre part (figures 19 et 20). Sans pour autant apporter des preuves définitives, cette technique permet d'apporter des arguments dans la filiation des espèces et donc des informations sur l'organisation de ce complexe multispécifique.

2. On a cherché à regrouper les espèces en fonction de leurs zymogrammes. Pour cela, on a utilisé l'analyse factorielle des correspondances pour comparer les profils enzymatiques de plusieurs espèces. Dans cette analyse, chaque électromorphe est considéré comme un caractère avec 2 états: présence-absence.

Il ressort de cette analyse que chaque espèce, représentée par un nuage de points, est bien séparée des autres. Les distances entre espèces sont différentes et l'on peut se rendre compte de l'organisation spatiale de ces différences. A l'intérieur de chaque espèce, on peut voir l'importance de la diversité introduite par chaque population (BERTHOU, en préparation).

b. Etudes quantitatives :

Etude de la distance génétique entre espèces de caféiers.

La distance génétique, définie dans le tome 2, a été calculée pour quelques espèces de caféiers diploïdes: BERTHOU et al. (1980) déduisent les valeurs d'identité génétique pour 8 systèmes enzymatiques étudiés qui correspondent aux distances entre les espèces ci-dessous :

2	3	4	
0,39	0,19	0,53	1 <i>C. canephora</i> (Centrafrique (Libengué))
	0,23	0,70	2 <i>C. canephora</i> Côte d'Ivoire (Ifa)
		0,50	3 Caféier de la Nana
			4 <i>C. congensis</i>

Ce tableau des distances génétiques permet de construire un graphique cohérent des relations entre *C. canephora*, *C. congensis* et la position originale de caféier de la Nana (figure 21).

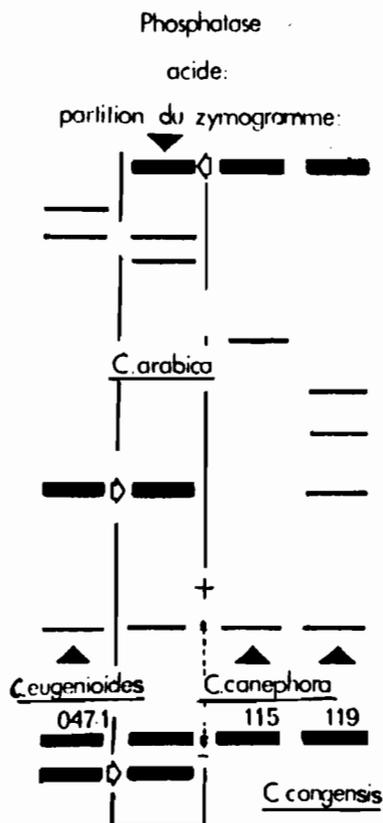


Figure 19: Types électrophorétiques Phos. A de 4 espèces: *C. eugenioides*, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. congensis*. (BERTHOU, 1977).

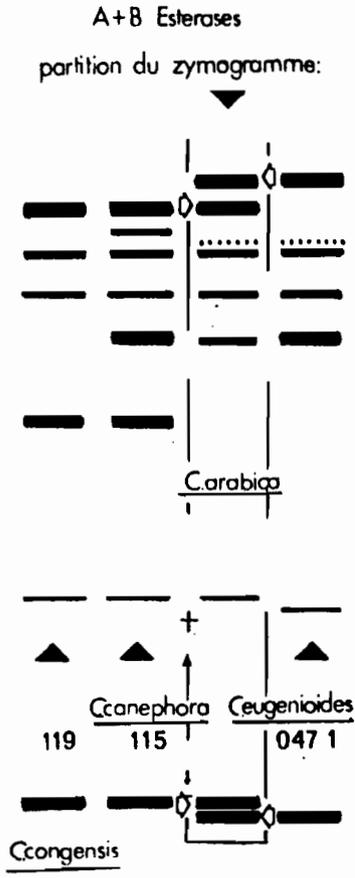


Figure 20: Types électrophorétiques Est. A et B de 4 espèces *C. congensis*, *C. canephora*, *C. arabica*, *C. eugenioides* (BERTHOU, 1977).

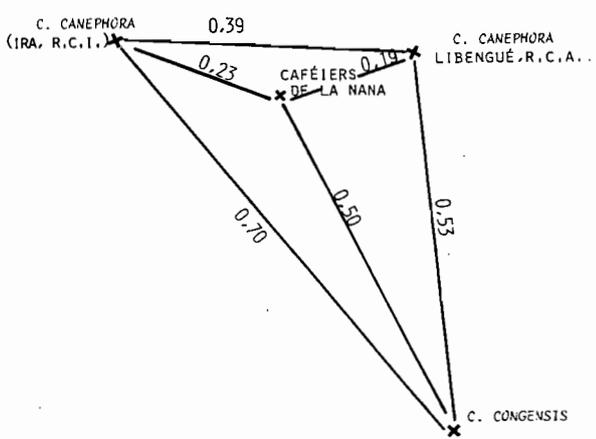


Figure 21: Distances génétiques entre différents groupes de caféiers (d'après données de BERTHOU et al. 1980).

c. Etudes génétiques

Toutes les situations examinées précédemment peuvent paraître complexes dans la mesure où le déterminisme des bandes n'est pas connu. Par contre, dès que celui-ci le sera, des situations exemplaires pourront être étudiées et apporter des informations sur les séquences géniques, le régime de reproduction (panmixie ou écart à celle-ci...).

L'identification de certains gènes étant réalisée, ils pourront être utilisés comme marqueurs dans les populations de caféiers. On pourra donc tester des modèles de génétique des populations, situation irréalisable si on voulait utiliser des marqueurs morphologiques, ceux-ci étant rapidement disponibles dans les populations naturelles. Cette voie semble intéressante à développer.

d. Les principaux problèmes de ce type d'analyse

— La mise en évidence des bandes.

Il semble que, pour les enzymes étudiées, les différentes parties de la plante aient des expressions identiques, avec toutefois une baisse d'activité dans les tissus âgés. Il a été décidé de prélever pour l'analyse uniquement des jeunes feuilles. Le prélèvement de cette partie de la plante peut s'appliquer aussi bien à de jeunes plants qu'à des arbres adultes.

La définition d'une méthode d'analyse standard est plus délicate. En effet selon le pH du milieu de migration et évidemment la durée de l'électrophorèse, on assiste à un étalement ou à un resserrement des bandes. Ceci peut amener dans certains cas à confondre certaines bandes migrant de façon presque identique. Aussi des modifications du protocole expérimental peuvent s'accompagner de l'apparition de nouvelles bandes ou au contraire du regroupement de plusieurs bandes (BERTHAUD et al. à paraître).

— La correspondance des bandes d'une espèce à l'autre.

Des bandes migrant à la même vitesse mais appartenant à des espèces différentes peuvent-elles être considérées comme identiques? On est ramené au problème précédent car par de légères modifications du pH par exemple il serait peut-être possible de faire apparaître une différence entre bandes considérées jusqu'alors comme identiques.

— La valeur de l'échantillonnage du matériel soumis à l'analyse détermine directement la valeur des résultats obtenus et surtout la possibilité d'extrapolation des résultats. Ce problème souligne l'intérêt qu'il faut porter au type d'échantillonnage réalisé lors de la prospection de ces caféiers.

La variabilité des A.D.N. mitochondriaux

Cette méthode est rapportée ici car bien que nous disposions de peu de résultats elle semble un outil du plus grand intérêt. Après extraction des mitochondries, l'A.D.N. est soumis à l'action d'une enzyme de restriction. Les différents segments obtenus sont séparés par électrophorèse.

Les résultats actuels (BERTHOU et al., 1980/1983) montrent qu'il existe une grande similitude entre *C. eugenioides* et *C. arabica*, tandis que les A.D.N. mitochondriaux de *C. canephora*, *C. congensis* et *C. liberica* sont très différents. Pour juger de la valeur de ces résultats, il conviendra d'analyser d'autres espèces pour les situer les unes par rapport aux autres.

Cette méthode a déjà été appliquée à d'autres plantes comme le Soja par exemple (SISJON et al., 1978). Il semble qu'à l'intérieur d'une même espèce les images observées soient très stables.

4. Les tests d'aptitude à la combinaison interspécifique

Nous incluons dans ce paragraphe tout ce qui concerne les relations entre les différentes espèces, informations déduites des croisements interspécifiques. Nous présenterons très brièvement les critères utilisés dans l'analyse des croisements, les principales limitations aux échanges génétiques entre espèces et nous essayerons de voir l'importance relative du choix des espèces et des géniteurs dans ces espèces pour la réussite des croisements interspécifiques. La réussite des croisements se situe à deux niveaux. Dans une première phase, d'orientation, il faut obtenir des hybrides viables, dans une deuxième phase, de sélection, il faut obtenir des hybrides fertiles (bons producteurs).

Les critères utilisés :

— le taux de réussite des croisements.

On l'exprime par le nombre de fruits obtenus pour 100 fleurs, par le nombre de graines obtenues pour 100 fleurs ou encore par le nombre d'hybrides viables pour 100 fleurs. Il s'agit là d'une donnée synthétique qui recouvre plusieurs phénomènes puisque un mauvais taux de réussite peut être dû à une incompatibilité interspécifique, à un mauvais développement des albumens ou des embryons, à des gènes léthaux s'exprimant au stade plantule.

— la fertilité mâle estimée par la viabilité du pollen.

La viabilité du pollen se mesure de façon classique par le pourcentage de grains à cytoplasme coloré. Différentes colorations peuvent être utilisées : carmin acétique, Alexander, tétrazolium (GRASSIAS, 1977, 1980).

— la fertilité femelle est estimée par le taux de graines caracoli (provenant de fruits à une seule loge pleine) et le taux de loges vides (albumen avorté). On compare en fait le nombre de graines que produit un hybride au nombre de fleurs qu'il porte.

— le comportement méiotique des hybrides. On estime les paramètres suivants :

- le nombre moyen des différentes associations chromosomiques par cellule mère des grains de pollen (CMP) ;
- la proportion de cellules mères à appariement normal (11 bivalents) ;

Ces observations ont une valeur explicative intéressante car, dans un grand nombre de cas, on trouve une liaison entre la régularité de la méiose et la fertilité pollinique (LOUARN, 1976, 1977, 1980 ; LANAUD, 1979).

Les limitations des échanges génétiques

— niveaux de ploïdie différents : on sait la place à part qu'occupe *C. arabica* par son niveau de ploïdie.

Les croisements entre *C. arabica* et une espèce diploïde ont un taux de réussite normal si l'on ne tient compte que des embryons. Le problème vient du développement incomplet des albumens des graines hybrides. Le taux de germination est cependant bon et les plantules sont très vigou-

reuses. Par contre, la fertilité mâle et femelle des hybrides triploïdes obtenus est pratiquement nulle. La limitation aux échanges génétiques entre espèces de caféiers à niveaux de ploïdie différents est due à une quasi-stérilité des hybrides triploïdes obtenus. Une amélioration est possible en utilisant des géniteurs tétraploïdisés des espèces diploïdes dans les combinaisons avec *C. arabica*. Dans ces combinaisons, le taux de grains de pollen colorés au carmin acétiqué est de 20 à 80%. Au sein de ces hybrides, il a été possible de trouver des arbres dont la fertilité est suffisante pour une utilisation agronomique: les arabusta (CAPOT, 1972, BERTHAUD, 1977, 1978). Une autre méthode pour obtenir des hybrides fertiles est de doubler le nombre de chromosomes des hybrides triploïdes. Le taux de grains de pollen colorés au carmin passe de 0 à quelques pourcents chez les hybrides triploïdes, à 50-90% chez les hybrides hexaploïdes (BERTHAUD, 1978).

Selon les combinaisons les comportements sont très différents après repiquage. Chez les arabusta dans certaines combinaisons, l'ensemble des plantes a un bon comportement. Avec d'autres géniteurs les plantules sont bloquées au stade feuilles cotylédonnaire avec parfois quelques plantules à croissance normale. Dans d'autres cas les plantules ont une croissance très lente.

Après la première génération d'hybrides les échanges génétiques restent possibles et la diversité des méthodes employables est très importante, les hybrides pouvant être recroisés avec les parents à différents niveaux de ploïdie, autofécondés... Ces méthodes sont utilisées quand il s'agit de transférer quelques gènes de résistance aux maladies de l'espèce *C. canephora* par exemple, aux variétés cultivées de *C. arabica* (MONACO et CARVALHO, 1975; VAN DER VOSSSEN et WALYARO, 1980). — A un même niveau de ploïdie.

Au niveau 2x les croisements entre espèces donnent des résultats très variés selon les géniteurs et les espèces utilisées.

Le taux de réussite d'une même combinaison est variable d'une année à l'autre sous l'influence des conditions extérieures, tant climatiques, qu'opératoires.

Les résultats ne sont pas toujours identiques dans les deux sens du croisement. Avec *C. canephora* dans une combinaison interspécifique les résultats sont moins bons quand cette espèce est utilisée comme géniteur femelle.

Dans une même espèce le comportement n'est pas identique d'un géniteur à un autre. Chez *C. liberica* certains arbres n'acceptent aucun pollen d'autres espèces mais ils ne sont pas stériles car laissés en fécondation libre avec d'autres arbres de la même population ils portent des fruits. Ces arbres viennent de la prospection de Centrafrique. D'autres arbres, tout particulièrement ceux provenant des prospections de Côte d'Ivoire, acceptent les pollens de toutes les espèces. L'analyse de ces différentes situations est en cours (LOUARN, 1979).

Certains caféiers de la Nana donnent des descendance dont la majorité des plantules a des feuilles « frisées » tant dans les combinaisons avec *C. canephora* qu'avec *C. congensis*.

La fertilité des hybrides obtenus est très variable. Dans un même croisement, il est possible de trouver des arbres suffisamment fertiles et des arbres très stériles (LOUARN, 1980).

— Le comportement méiotique et la fertilité des hybrides.

Nous reprenons ici une partie des conclusions présentées par CHARRIER au 8ème colloque de l'ASIC (1977):

Les affinités entre espèces diploïdes (tableau 21)

Chez les *Eucoffea* diploïdes, la réussite des croisements entre espèces appartenant au même groupe botanique s'apparente souvent à celle des croisements intraspécifiques. A titre d'exemple, citons les combinaisons *C. liberica* × *C. dewevrei*, chez les *Pachycoffea* et *C. canephora* × *C. congensis* chez les *Erythrocoffea*. Leurs hybrides F1 vigoureux présentent, comme les espèces parentes, 11 bivalents dans la plupart des cellules-mères. Leurs fertilités élevées autorisent la sélection directe de plantes intéressantes.

TABLEAU 21

— Comportement méiotique des hybrides F1 entre espèces de *Coffea* diploïdes (2n = 22 chromosomes). D'après CHARRIER (1977).

Hybrides interspécifiques	Associations chromosomiques		% CMP à 11 II	FP	Auteurs
	I	II			
<i>C. canephora</i> × <i>C. congensis</i> <i>C. liberica</i> × <i>C. dewevrei</i>	0,04 à 0,74 0,20 à 0,52 méiose normale (RHOADES)	10,63 à 10,98 10,74 à 10,90		élevée 89 à 93 élevée	LELIVELD, 1940 CHARRIER, 1976 CARVALHO et MONACO, 1968
<i>C. canephora</i> × <i>C. canephora</i> × <i>C. liberica</i>	1,44 0,30 à 1,40	10,28 9,93 à 10,66		moyen 39	LELIVELD, 1940 CHINNAPPA, 1970
<i>C. canephora</i> × <i>C. neo-arnoldiana</i> <i>C. canephora</i> × <i>C. eugenioides</i> <i>Liberio-excelsoïdes</i> × <i>C. eugenioides</i>	1,16 à 1,20 1,30 à 2,22 souvent 2 I 1,28 à 1,64	10,40 à 10,42 9,89 à 10,35 10,18 à 10,36	50 à 58 23 à 44 42 à 48	64 43 35	LOUARN, (inédit) LOUARN, 1976 VISVESHWARA, 1963 LOUARN (inédit)
<i>C. canephora</i> × <i>C. kapakata</i>	1,50	10,25		moyen	LELIVELD, 1940
<i>C. canephora</i> × <i>C. lancifolia</i> <i>C. canephora</i> × <i>C. resinosa</i> <i>C. canephora</i> × <i>C. sp. A311</i>	3,20 4,40 à 6,40 5,04	9,40 7,80 à 8,80 8,48	8 4	8 6	CHARRIER, 1976

Tous les croisements réalisés avec 26 taxons de *Mascarocoffea* donnent de nombreux hybrides F1, vigoureux même quand il s'agit d'espèces très différentes appartenant à des groupes botaniques distincts. Les taux de réussite dépassent couramment 10 hybrides pour 100 fleurs. Les 4 pre-

miers hybrides F1 étudiés présentent, comme leurs parents, un comportement méiotique normal et des fertilités élevées. Les nouvelles combinaisons hybrides qui fleurissent sont aussi fertiles que les premières, même s'il s'agit de croisements intéressant des groupes botaniques différents. On peut donc s'attendre à ce que le comportement cytogénétique de tels hybrides F1 soit aussi de type diploïde.

Chez les hybrides F1 *C. canephora* × *Mascarocoffea*, on observe encore une bonne affinité des chromosomes des génomes en présence. Toutefois, la proportion d'univalents s'accroît et celle des cellules-mères à 11 bivalents devient faible (0 à 8%). L'utilisation de ces hybrides F1 quasi stériles nécessite une étude de la restauration de leur fertilité (LANAUD 1979).

Deux remarques s'imposent à la lecture de ces résultats :

- 1) les deux paramètres biologiques utilisés pour caractériser le comportement des hybrides — proportion de cellules mères à appariement normal et viabilité pollinique — sont étroitement corrélés et varient de façon continue quand on considère l'ensemble des combinaisons.
- 2) les cellules mères à 11 bivalents témoignent de la parenté des garnitures chromosomiques confrontées; même les hybrides F1 entre espèces éloignées comme *C. canephora* et les *Mascarocoffea* forment quelques cellules à appariement complet par allosyndèse.

Les relations des caféiers diploïdes avec *C. arabica* (Tableau 22)

Les taux de réussite des hybridations de *C. arabica* pris comme parent femelle avec les *Eucoffea* diploïdes et avec les *Mascarocoffea* atteignent en moyenne 8 hybrides pour 100 fleurs.

Le tableau 22 résume le comportement méiotique des différents hybrides F1 triploïdes étudiés à ce jour. A la méthaphase I, une partie des chromosomes reste sous forme d'univalents, les autres s'apparient pour donner surtout des bivalents et quelques trivalents. Le nombre d'associations chromosomiques par cellule mère atteint au maximum 11 bivalents potentiels (bivalents + trivalents). Remarquons que le taux d'asyndèse augmente de façon continue en passant des hybrides *C. arabica* × *Eucoffea* 2x (8 à 11 bivalents) aux hybrides *C. arabica* × *Mascarocoffea* (12 à 17 bivalents) tandis que la proportion de cellules mères à 11 bivalents potentiels décroît corrélativement. Ainsi le début de différenciation, mis en évidence entre *Eucoffea* et *Mascarocoffea* au niveau diploïde se trouve confirmé par le décalage de leur comportement méiotique vis-à-vis de *C. arabica*. Tous ces hybrides F1 triploïdes sont vigoureux et quasi-stériles.

Ces données cytogénétiques suggèrent que les nombreux taxons diploïdes d'Afrique et de la région malgache dérivent d'un même génome de base. Leur diversification s'est accompagnée d'un début de différenciation génomique (variation continue du taux d'asyndèse) et géographique qui permet de reconnaître plusieurs sous-ensembles divergents.

Un point paraît maintenant bien établi: la formation de 11 bivalents potentiels par allosyndèse chez les hybrides triploïdes tend à montrer que l'un des génomes constitutifs de *C. arabica* est homologue du génome commun aux *Coffea* diploïdes. De ce point de vue les espèces africaines *C. canephora*, *C. liberica* et *C. eugenoides* présentent des affinités équiva-

TABLEAU 22

Comportement méiotique des hybrides F1 *C. arabica* par des espèces diploïdes (2n × 33 chromosomes) (d'après CHARRIER, 1977).

Hybrides interspécifiques	Associations chromosomiques				% CMP à 11 bivalents	FP	Auteurs
	I	II	III	Autres			
<i>C. arabica</i> × <i>C. canephora</i>	14,4	5,4	2,60	–	–		KRUG et MENDES, 1940 KAMMACHER et CAPOT, 1972 CHINNAPPA, 1968 LOUARN, (inédit)
	7,80	9,75	1,61	0,21	89		
	7,98 9,87	9,55 9,57	1,93 1,33	0,04 –	90	4	
<i>C. arabica</i> × <i>Liberio-excelscides</i>	9,28	9,64	1,44	0,03	77	6	CHARRIER, 1976
<i>C. arabica</i> × <i>C. eugenioides</i>	9,70	9,64	1,34	–	92	7	LOUARN (inédit)
<i>C. arabica</i> × <i>C. kapakata</i>	10,07	9,45	1,33	–	62		MONACO et MEDINA 1965
<i>C. racemosa</i> × <i>C. arabica</i>	11,3	9,7	0,80	–	49		MEDINA, 1963
<i>C. arabica</i> × <i>C. bertrandi</i>	11,9	8,6	1,3	–	24	1	
<i>C. arabica</i> × <i>C. perrieri</i>	12,4	8,2	1,4	–	21	2	
<i>C. arabica</i> × <i>C. pervilleana</i>	14,3	8,6	0,5	–	10	1	
<i>C. arabica</i> × <i>C. sp. A311</i>	17,1	7,7	0,2	–	2	1	

lentes en combinaison avec *C. arabica* (80 à 90% de cellules mères à 11 bivalents potentiels); les affinités des *Mascarocoffea* avec *C. arabica* sont moins bonnes.

Le schéma évolutif du genre *Coffea* semble cohérent, mais l'origine allotétraploïde de *C. arabica* n'est pas pour autant résolue. Sa synthèse a été envisagée par hybridation de *C. eugenioides* avec les *canephoroides* ou les *liberio-excelsoïdes*. Vu l'homologie chromosomique de ces espèces, le comportement méiotique des amphidiploïdes artificiels devrait s'apparenter à celui d'autotétraploïdes. Le passage vers l'amphidiploïde naturel à comportement méiotique diploïde prépondérant ferait intervenir des phénomènes variés tels que les appariements préférentiels ou des gènes de régulation de la synapsis ou de « diploïdisation ».

Considérons maintenant le comportement méiotique des dihaploïdes de *C. arabica* (BERTHAUD 1976, MENDES 1940): il indique des possibilités d'appariement des génomes constitutifs de *C. arabica* plus limitées que

chez les hybrides F1 obtenus avec les espèces de *Coffea* diploïdes les plus différenciées. La synthèse de *C. arabica* requiert dans ces conditions soit la participation de formes ancestrales des caféiers différentes de celles qui sont actuellement connues, soit l'association au génome de base des *Coffea* diploïdes d'un deuxième génome plus différencié. Les genres affines des *Coffea* pourraient-ils jouer ce rôle? LEROY a proposé l'hypothèse d'une séquence phylogénétique *Paracoffea* → *Coffea*. Pour le moment, nos essais limités de croisement des *Coffea* avec les *Paracoffea* et le *Psilanthus* restent un échec.

Les analyses de la variabilité enzymatique montrent que *C. arabica* et *C. eugenioides* sont proches, mais, pour obtenir le zymogramme de *C. arabica*, il faudrait faire intervenir aussi des espèces plus éloignées comme *C. canephora*, *C. liberica*. Elles se trouvent quelquefois en mélange dans une même population, tel est le cas en Ouganda (THOMAS, 1944) mais jamais avec *C. arabica*.

Les premiers résultats de l'analyse des A.D.N. mitochondriaux (BERTHOUD, 1980 et 1983) laissent à penser que le *C. arabica* pourrait provenir d'échanges complexes entre différentes espèces existant dans la région centrale de l'Afrique tout particulièrement *C. eugenioides* et *C. congensis*. Cette hypothèse a d'ailleurs déjà été avancée (CRAMER, 1957, p. 138).

Les analyses cytologiques aboutissent plutôt à une autre présentation du problème. Quelle que soit l'espèce diploïde confrontée à *C. arabica* dans une combinaison interspécifique les résultats de l'analyse du comportement méiotique sont très proches. Par ailleurs les espèces diploïdes montrent peu de différenciation chromosomique entre elles. On est donc amené à penser que *C. arabica* est constitué de deux génomes distincts dont un serait commun avec celui des espèces diploïdes, le deuxième restant à déterminer. L'une des hypothèses proposées est de le rechercher dans les genres affines tels *Paracoffea* ou *Psilanthus* (CHARRIER 1978). Il semble que les analyses en électrophorèse excluent cette hypothèse, ces genres affines ayant des zymogrammes trop éloignés de celui de *C. arabica*. On pourrait donc imaginer que les tétraploïdes *C. arabica* se soient construits à partir des formes spontanées à génome commun à l'ensemble des caféiers africains. La structure initiale de type autotétraploïdes aurait été progressivement régularisée (diploïdisation de l'aspect des méioses). La poursuite des études sur l'ensemble du complexe multispécifique devrait continuer à apporter des arguments permettant de mieux étayer les hypothèses actuelles.

B. ÉTUDE DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES

1. La résistance aux maladies

Ces études font appel à deux disciplines: la génétique et la phytopathologie, car en fait il s'agit de l'étude des relations d'une plante, le caféier avec un parasite: la rouille (*Hemileia*) ou l'antracnose (*Colletotrichum coffeanum*). Une des relations à privilégier sera évidemment la relation de résistance! Les études porteront sur la détermination des races du parasite si elles existent, les niveaux d'agressivité et le mécanisme de résistance. A

ce sujet nous renvoyons au Tome 2 pour une présentation générale de ces problèmes.

a) La recherche de la résistance à la rouille

Les rouilles et plus particulièrement la rouille orangée dont l'agent pathogène est l'*Hemileia vastatrix*, constituent pour le caféier des parasites dont l'importance économique a été maintes fois démontrée depuis la première épidémie observée à Ceylan en 1868 sur les plantations de *Coffea arabica*.

Hemileia vastatrix est présente dans la plupart des régions de caféiculture du globe, y compris sur le continent américain où elle a été signalée pour la première fois au Brésil, en 1970. Son introduction a été vigoureusement contrée à Porto-Rico, en 1903 (DIEHL, 1955). Pour l'instant, elle semble épargner les pays de l'ouest de ce continent, mais elle constitue une menace permanente dans une région où la production caféière représente plus de 60% de la production mondiale. Le *Coffea arabica*, qui est l'espèce la plus cultivée, se montre également la plus sensible au parasite. Pour des raisons de pratiques culturales et d'ordre économique, la lutte chimique est d'application limitée; aussi, les études se sont-elles orientées vers la sélection génétique pour la résistance.

Cette recherche a débuté par les travaux de MAYNE (1932), puis a été poursuivie dans les différentes stations spécialisées situées dans les régions de caféiculture. Les recherches effectives sur l'évaluation de la résistance, la caractérisation des gènes de résistance et la détermination des races physiologiques de la rouille ont été principalement conduites depuis une vingtaine d'années au Centre de Recherches sur les rouilles du caféier (C.I.F.C.) à Oeiras, au Portugal. Les chercheurs portugais ont mis au point les tests d'inoculation et l'échelle de lecture des symptômes. Ils ont déterminé les conditions optimales nécessaires à l'incubation et au développement de la maladie pour l'étude expérimentale des caractères de résistance. Les résultats de ces travaux constituent désormais une référence pour toutes les expérimentations se rapportant à l'évaluation de la résistance des caféiers à la rouille orangée.

Les techniques d'inoculation et la lecture des symptômes

L'*Hemileia vastatrix* est une urédinale chez laquelle seules les formes urédospores et téléospores sont connues dans la nature. Les urédospores constituent les spores infectieuses à l'aide desquelles sont effectuées les inoculations artificielles par la méthode massale mise au point à Oeiras. Une petite quantité de spores est déposée à la face inférieure du limbe de jeunes feuilles de caféiers et étalée à l'aide d'un pinceau. Une pulvérisation de fines gouttelettes d'eau est pratiquée au niveau de l'inoculation pour favoriser la germination des spores, puis sur l'ensemble du plant pour maintenir une humidité élevée. L'incubation se déroule en deux temps 36 heures à l'obscurité à 24° C dans une ambiance à humidité saturante favorable à la germination des spores et à la pénétration dans les tissus puis 25 à 30 jours dans une serre à 24°C avec une humidité relative de l'ordre de 70%. Ce délai est nécessaire au développement des symptômes à partir desquels est effectuée la lecture. L'échelle de réaction établie après de nombreux essais est constituée de 10 degrés allant de l'immunité jusqu'à la sensibilité extrême, chaque stade étant caractérisé par un symbole (GOUJON, 1971).

- i = immunité: aucun signe d'infection;
- fl = flecks: réaction d'hypersensibilité caractérisée par de petites taches translucides
- ; = réaction d'hypersensibilité caractérisée par de petites nécroses sombres;
- T = tuméfactions locales de petites dimensions;
- O = taches chlorotiques jaune clair sans apparition d'urédospores;
- 1 = taches chlorotiques accompagnées de rares spores à urédospores et fréquemment de zones nécrotiques de taille réduite;
- 2 = pustules de petites ou moyennes dimensions produisant des urédospores et entourées d'une aire chlorotique;
- 3 = pustules de taille moyenne ou grande accompagnées de chlorose;
- 4 = grandes pustules, aucun signe d'hypersensibilité
- X = réaction hétérogène montrant, à côté de pustules de taille et de formes variables, des chloroses, des nécroses et parfois des tuméfactions.

Cette échelle de lecture est relativement complexe et ne peut être respectée, dans son détail, que par un observateur très expérimenté. De manière simplifiée, dans les tests de routine, on considère que les réactions i, fl, ; T, O, 1 caractérisent les plants résistants, les autres réactions correspondant aux plants sensibles.

Les groupes physiologiques de caféiers et les races différentielles de la rouille

Partant des méthodes mises au point qui permettent d'obtenir des résultats reproductibles, les chercheurs portugais procédèrent à des infections systématiques d'un grand nombre de caféiers, principalement de l'espèce *C. arabica*, avec des isolats du parasite récoltés dans toutes les régions de caféiculture. Ainsi ont pu être définis des groupes physiologiques de l'hôte en fonction de leur spectre de réaction à l'égard des différents pathotypes du parasite (Tableau 23). Ces résultats ont une grande importance pratique. Il suffit en effet de constituer une collection de clones ou de cultivars composée d'un représentant de chacun des groupes pour être en mesure de caractériser, en fonction des résultats de l'inoculation, 24 des 28 races de rouilles actuellement connues. Les tests d'inoculation peuvent être pratiqués aisément, sans nécessiter d'installations de laboratoire sophistiquées, et permettront de déterminer localement la composition des races de la rouille orangée et de mettre en évidence l'apparition éventuelle de tout nouveau génotype pathogène.

Réciproquement, il est possible à partir de la collection des races de la rouille de déterminer le groupe de réaction auquel appartient un caféier, quelle que soit son origine.

L'analyse génétique effectuée sur 18 clones de *C. arabica* par NORONHA-WAGNER et BETTENCOURT (1967) puis BETTENCOURT et CARVALHO (1968) devait par ailleurs démontrer la nature monogénique, selon la théorie de FLOR, de la résistance.

que l'origine de l'inoculum ne soit pas clairement définie, montrent que 4 types de réactions sont enregistrées: résistant, tolérant, sensible, très sensible. RODRIGUEZ et al. (1975) constate par ailleurs, après avoir testé des *C. canephora* d'origines diverses, que cette espèce se distingue par une très grande variabilité dans ses réactions à la rouille et un niveau de tolérance élevé. Enfin, d'une manière générale, les dégâts enregistrés dans les plantations de *C. canephora* en Afrique de l'Ouest, du fait des attaques de la rouille, restent modérés bien que les conditions climatiques soient favorables au développement du parasite.

Ces caractéristiques de la résistance horizontale doivent donc être prises en considération afin de compléter l'étude du potentiel offert par les *Coffea arabica* originaires d'Ethiopie et les différentes espèces diploïdes vivant à l'état spontané en Afrique. A cet égard, les études en cours en Côte d'Ivoire sur des hybrides *arabusta* (*C. arabica* × *C. canephora*) et des hybrides interspécifiques diploïdes (*C. canephora* × *C. congensis*, *C. canephora* × *C. liberica*, *C. liberica* × *C. stenophylla*) devraient permettre d'acquérir une meilleure connaissance des mécanismes de la résistance et de son héritabilité chez les espèces.

b) La résistance à l'antracnose

Pour cette maladie c'est aussi la mise au point d'une méthode de test par infection artificielle qui a permis d'élucider une partie du mécanisme de résistance. Les travaux sont conduits principalement à la station de recherche sur les caféiers à Ruiru au Kenya (VAN DER VOSSSEN et al., 1976). Dans ce pays c'est cette maladie appelée encore Coffee Berry Disease (C.B.D.), qui est de loin la plus préoccupante. L'inoculation de jeunes plantules de caféiers par une suspension de spores dans certaines conditions de température permet de mettre en évidence les plantules résistantes. Ce test a une corrélation forte avec les observations en champ. Il peut s'appliquer à un grand nombre de plantules. Il a permis d'identifier les géniteurs *C. arabica* pouvant être utilisés comme source de résistance.

Grâce à ce test il a été mis en évidence des niveaux d'agressivité du *Colletotrichum* différents selon les isolats. Jusqu'à présent il n'a pas été possible de trouver des races différentes de ce parasite.

Le mécanisme de résistance semble être contrôlé par quelques gènes majeurs et une série polygénique (VAN DER VOSSSEN et al., 1980).

2. La teneur en caféine

Les résultats présentés ici sont extraits des articles de CHARRIER et BERTHAUD (1975) et BERTHAUD et BERTHOU (1977).

La caféine est l'alcaloïde qui confère l'action stimulante au café-boisson. A partir d'une certaine teneur les effets sont tels que le consommateur restreint les quantités absorbées. On peut donc penser qu'une diminution de la teneur en caféine permettrait un nouveau développement de la consommation de cette boisson. Par ailleurs l'effet stimulant étant quelquefois systématiquement recherché il convient de conserver également des caféiers à forte teneur en caféine.



C. congensis de Centrafrique, en collection sous forêt aménagée à DIVO Côte d'Ivoire



Rizières à Madagascar

Les analyses systématiques de teneur en caféine sur toutes les espèces en collection et sur une diversité maximum de génotypes ont montré que chaque espèce a une teneur moyenne propre et que les écarts de part et d'autre de cette moyenne sont importants. Dans une même espèce l'arbre à plus forte teneur contient souvent 2 fois plus de caféine que l'arbre à la teneur la plus faible. Par contre les effets du milieu sont faibles sur ce caractère. Signalons que dans tout le groupe des *Mascarocoffea* (caféiers malgaches) l'absence de caféine est la règle générale. Toutefois ces caféiers ne sont pas directement exploitables car ils contiennent des principes amers qui rendent la boisson difficilement consommable.

Dans le Tableau 25, nous donnons les teneurs en caféine moyennes et leur étendue de variation pour un ensemble d'espèces. Notons les valeurs remarquablement basses des teneurs en caféine de *C. eugenioides*. Cette espèce, outre sa probable mise en cause dans l'origine de *C. arabica*, présente aussi par elle-même cette caractéristique fort intéressante pour l'amélioration des caféiers.

Outre les différences spécifiques, il existe une variation intraspécifique. C'est ainsi que chez *C. canephora* nous avons pu mettre en évidence une variation géographique de la teneur en caféine, les provenances du Zaïre ayant des teneurs moyennes plus faibles que celles de Côte d'Ivoire. Pour *C. arabica* prospecté en Ethiopie dans la région de Goré on trouve les arbres avec les plus fortes et les plus faibles teneurs. Il s'agit là vraisemblablement d'une zone de grande variabilité qui mériterait d'être reproductée si on s'intéresse tout particulièrement à ce caractère.

D'un point de vue génétique il ne s'agit pas d'un caractère à hérédité simple. L'analyse génétique n'est pas aisée car les espèces diploïdes sont toutes allogames, les descendants d'un même croisement montrent une grande diversité. C'est ainsi que dans la descendance d'un croisement entre 2 clones de *C. canephora* de teneur moyenne il a été trouvé une étendue de variation au moins égale à celle de la collection de cette espèce (CHARRIER et BERTHAUD, 1975).

En hybridation interspécifique la teneur en caféine des descendances se situe en moyenne entre les teneurs des 2 parents, certains arbres pouvant toutefois avoir des teneurs supérieures à celle du parent le plus fort ou inférieures à celle du parent le plus faible.

Les résultats actuels ont pu être obtenus grâce à l'installation d'une chaîne d'analyse des teneurs en caféine pouvant traiter plusieurs milliers d'échantillons par an, à l'ORSTOM (Bondy) puis au GERDAT (Montpellier).

Les principaux résultats qui ressortent de cette étude sont :

- les variations de la teneur en caféine dépendent surtout de facteurs génétiques et peu du milieu;
- la teneur en caféine moyenne est très différente d'une espèce à l'autre;
- à l'intérieur d'une espèce, les variations observées sont très importantes d'un clone à l'autre.

Ces résultats montrent qu'une sélection pour ce caractère peut être très efficace.

TABLEAU 25

Variabilité de la teneur en caféine des différentes espèces prospectées et données antérieures (bibliographie et collections RCI) (d'après BERTHAUD et BERTHOU, 1977).

ESPECES	Niveau d'échantillonnage et provenance	Nombre d'arbres analysés	Moyenne*	Etendue de variation	Données antérieures (collections)
<i>C. eugenioides</i>	espèce, Kenya	12	0,55	0,35 – 0,75	0,23 – 0,51
<i>C. liberica</i>	populations Centrafrique	55	1,18	0,52 – 1,80	0,97 – 1,81
<i>C. stenophylla</i>	une population Côte d'Ivoire	28	1,29	0,89 – 1,86	1,60 – 1,85
<i>C. canephora</i>	espèce Côte d'Ivoire	20	2,76	1,91 – 3,64	1,40 – 4,0
<i>C. arabica</i>	espèce Ethiopie	383	1,20	0,77 – 1,90	0,6 – 1,3

* toutes les teneurs sont données en pourcentage de la matière sèche (% M.S.)

V. CONCLUSION

L'expérience acquise au cours des différentes prospections de caféiers permet de proposer une méthode de prospection adaptée à ce type de plantes et de l'étendre à d'autres espèces arbustives. L'analyse du matériel rapporté de ces prospections permettra de mieux connaître ce matériel et d'en tirer des informations complémentaires quant à la stratégie des prospections. Malgré le travail déjà effectué, il reste encore des populations et espèces de caféiers à prospector avant d'avoir une image complète du complexe multispécifique des caféiers. Il y a donc nécessité de poursuivre ce travail de prospection.

Les problèmes posés par la mise en collection sont réduits actuellement à un problème de surface disponible, les méthodes de manipulation du matériel étant bien maîtrisées. Il serait souhaitable d'évaluer les possibilités offertes par la multiplication végétative *in vitro* (microbouturage et stockage *in vitro*).

L'évaluation du matériel est en cours, les méthodes utilisées sont bien connues, la limitation à l'analyse tient au type de matériel, le caféier exigeant plusieurs années avant d'atteindre son plein développement.

L'utilisation du matériel mis en collection

De toutes les espèces ramenées de prospection aucune ne paraît réunir suffisamment de qualités pour permettre une utilisation agronomique directe, même dans le cas de *C. arabica* et de *C. canephora* dont la mise en culture a déjà été réalisée. Pour une utilisation agronomique il est nécessaire d'envisager la création de nouvelles variétés cumulant de nombreux caractères intéressants à partir de toute la diversité existante. Pour cela des hybrides tant intra- qu'interspécifiques ont été réalisés ou sont en cours de réalisation.

— Les hybrides intraspécifiques

C. arabica

Les plantes provenant de l'aire d'origine n'ont pas une qualité à la tasse suffisante; par contre c'est dans ce type de plantes qu'ont été trouvées des sources de résistance à la rouille et à l'antracnose. Des croisements sont donc réalisés entre ce matériel et les variétés déjà sélectionnées connues pour leur productivité ou leurs qualités organoleptiques. Dans ces croisements un hétérosis important se manifeste et peut être directement exploité par la multiplication végétative.

C. canephora

Grâce à des mises en culture successives d'origines diverses, chez cette espèce, un grand brassage génétique a eu lieu. Il a été ainsi possible d'isoler certains clones agronomiquement intéressants. Il reste beaucoup de connaissances à acquérir sur l'ensemble des populations sauvages de cette espèce. Il se pourrait qu'une différenciation par population existe du type de celle que l'on observe chez les *robusta* Ebobo dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Une meilleure connaissance de ces populations permettra peut-être de définir une ligne de conduite pour l'obtention d'hybrides dans cette espèce. (BERTHAUD, en préparation).

C. liberica

Suite aux problèmes rencontrés en culture, il n'est plus envisagé d'études en vue d'une utilisation agronomique. Toutefois il serait intéressant de connaître la valeur d'hybrides réalisés à partir de formes éloignées tels des *C. liberica* de Côte d'Ivoire et ceux de Centrafrique.

— Les hybrides interspécifiques

C'est dans ce domaine que les possibilités sont les plus larges. La formule Arabusta apparaît comme un premier pas dans l'amélioration des caféiers cultivés en basse altitude; des progrès dans cette voie sont envisageables et même souhaitables. La formule hybride hexaploïde apparaît moins riche de potentialités tout au moins en ce qui concerne l'adaptation à la basse altitude.

Au niveau diploïde le grand nombre d'espèces pouvant intervenir dans les combinaisons oblige à entreprendre un programme de croisements de grande envergure avant de pouvoir choisir les voies les plus prometteuses.

Quelques combinaisons sont connues depuis longtemps tels les *congusta* (*C. canephora* × *C. congensis*). Leur intérêt agronomique ayant déjà été souligné il semble qu'avec les bases élargies que nous possédons actuellement il devrait être possible d'obtenir un nouveau matériel hybride intéressant. Si leur problème de fertilité est surmonté les hybrides *C. liberica* × *C. canephora* devraient aussi cumuler un certain nombre de qualités.

Ce programme ne fait que démarrer, il est encore difficile d'estimer ses chances de réussite. Quoiqu'il en soit la manipulation de tout ce matériel apportera de nombreuses informations sur l'organisation du complexe multispécifique et donc sur les voies les plus efficaces pour obtenir de nouvelles variétés de caféiers.

RÉFÉRENCES CAFÉIERS

- BERTHAUD J., 1976. Etude cytogénétique d'un hapoïde de *C. arabica* L. Café, Cacao, Thé, XX (2): 91-96.
- BERTHAUD J., 1977. Caractéristiques comparées des hybrides interspécifiques tétraploïdes et hexaploïdes *Coffea arabica* L. x *C. canephora* Pierre. 8ème coll. Inter. ASIC, Abidjan, 1977: 393-397.
- BERTHAUD J., 1977. L'hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Obtention et comparaison des hybrides triploïdes, *arabusta* et hexaploïdes. Thèse 3ème Cycle, Paris XI, Orsay, 1977: 51 p.
- BERTHAUD J., BERTHOU F., 1977. Analyse de la variabilité dans les populations naturelles de caféiers diploïdes (*Coffea* sp.) Observations sur les teneurs en caféine et sur le polymorphisme enzymatique. 8ème Coll. Intern. ASIC, Abidjan, 1977: 365-372.
- BERTHAUD J., GUILLAUMET J.L., 1978. Les caféiers sauvages en Centrafrique. Café, Cacao, Thé, XXII (3): 171-186.
- BERTHAUD J., GUILLAUMET J.L., LE PIERRES D., LOURD M., 1977. Les prospections des caféiers sauvages et leur mise en collection. 8ème Coll. Intern. ASIC, Abidjan, 1977.
- BERTHAUD J., GUILLAUMET J.L., LE PIERRES D., LOURD M., 1980. Les caféiers sauvages du Kenya. Prospection et mise en culture. Café, Cacao, Thé, XXIV (2): 101-112.
- BERTHAUD J., PERNES J., 1978. Variabilité lue sur les variables qualitatives. I.F.C.C., 14: 63-65
- BERTHOU F., 1978. Etude de la croissance au stade jeune chez quelques origines de *C. arabica* I.F.C.C., 14: 19-21.
- BERTHOU F., CHAUME R., PERNES J., 1978. Variabilité lue sur les variables quantitatives. I.F.C.C., 14: 57-62.
- BERTHOU F., MATHIEU C., VEDEL F., 1983. Chloroplast and mitochondrial DNA variation as indicator of phylogenetic relationships in the genus *Coffea* L.: Theor. Appl. Genet. 65, 1: 77-84.
- BERTHOU F., TROUSLOT P., 1977. L'analyse du polymorphisme enzymatique dans le genre *Coffea*: adaptation d'une méthode d'électrophorèse en série; premiers résultats. 8ème Coll. Inter. ASIC, Abidjan, 1977: 373-383.
- BERTHOU F., TROUSLOT P., HAMON S., VEDEL F., QUETIER F., 1980. Analyse en électrophorèse du polymorphisme biochimique des caféiers: variation enzymatique dans dix-huit populations sauvages, variation de l'A.D.N. mitochondrial dans les espèces: *C. canephora*, *C. eugenioides* et *C. arabica* Café, Cacao, Thé, 24 (4): 313-326.
- BETTENCOURT A.J., CARVALHO A., 1968. Melhoramento visando a resistencia do cafeiro a ferrugem. Pesquisas eim curso no instituto agronomico de Campinas com a colaboração do C.I.F.C. Bragantia 27-1 (4): 35-68.
- BOUHARMONT, 1963. Somatic chromosomes of some coffee species. Euphytica 12: 254-257.
- BRIDSON D. 1982. Studies in *Coffea* and *Psilanthus* (*Rubiaceae* subfam. cinchonodeae) for part 2 of «Flora of Tropical East Africa»: *Rubiaceae new bulletin* vol. 36 (4) (1982).

- CAPOT J., 1972. L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Les hybrides « *arabusta* ». Café, Cacao, Thé, XVI (1): 3-18.
- CARVALHO A., MONACO L.C., 1959. Híbrido entre *Coffea* e *psilanthopsis*. *Bragantia* 18: 21-29.
- CARVALHO A., MONACO L.C., 1968. Relaciones genéticas de especies seleccionadas de *Coffea*. Café, V9 (4), 1978: 3-19.
- CHARRIER A., 1977. La structure génétique du genre *Coffea*; ses conséquences pour l'amélioration des caféiers cultivés. 8ème Coll. Inter. ASIC, Abidjan, 1977: 399-405.
- CHARRIER A., 1978. Les ressources génétiques du genre *Coffea* en Afrique. Coll. AAASA/IITA Ibadan, 1978.
- CHARRIER A., 1976. La structure génétique des caféiers spontanés de la région Malgache (*Mascarocoffea*). Leur relation avec les caféiers d'origine africaine (*Eucoffea*). Mémoire ORSTOM, 87: 1978, 223 p.
- CHARRIER A., BERTHAUD J., 1975. Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. Café, Cacao, Thé, XIX (4): 251-264.
- CHEVALIER A., 1940. Nouveau groupement des espèces du genre *Coffea* et spécialement de celles de la section *Eucoffea*. C.R. Acad. Sci. Paris, 210: 357-361.
- CHEVALIER A., 1947. Les caféiers du globe. III. Systématique des caféiers et faux caféiers. Maladies et insectes nuisibles Paul LECHAVALIER Ed., Paris: 356 p.
- COUTURON E., 1980. Le maintien de la variabilité des graines de caféiers par le contrôle de leur teneur en eau et de la température de stockage. Café, Cacao, Thé, XXIV (1).
- CRAMER P.J.S., 1957. A review of literature of *Coffea* research in Indonesia. Wellman F.L. (Ed.), Turrialba Costa Rica, (I.A.I.A.S.): 262 p.
- DIEHL W.W., 1955. Solving the Puerto Rican coffee rust mystery. *Chronica botanica*, 9p.
- DUBLIN P., 1967. L'amélioration du caféier *Robusta* en Républiques Centrafricaine. Dix années de sélection clonale. Café, Cacao, Thé, XI, (2): 101-138.
- F.A.O., Mission to Ethiopia, F.A.O. Rome, 1968.
- GOUJON M., 1971. Considérations à propos de la résistance des plantes. Le cas particulier des caféiers attaqués par les rouilles orangée et farineuse. Café, Cacao, Thé, XV (4): 308-328.
- GRASSIAS M., 1978. La fertilité chez les hybrides *Arabusta*. 8ème Coll. Inter. ASIC. Abidjan, 1977: 553-560.
- GRASSIAS M., 1980. Etude de la fertilité et du comportement méiotique des hybrides interspécifiques tétraploïdes *arabusta* (*Coffea arabica* × *C. canephora*). Thèse 3ème cycle, Paris XI, orsay, 98 p.
- HUTCHINSON J., DALZIEL J.M. 1963. Flora of west tropical Africa. 2° ed. Crown agents for oversea governments and administration. Millbank, London, SW.1.
- I.F.C.C., 1963. Les principes de la sélection des caféiers *canephoroïdes* et *liberia excelsoïdes*. Leur application aux travaux des centres de recherches de l'Institut Français du Café et du Cacao en Côte d'Ivoire, à Madagascar et en République Centrafricaine. I.F.C.C. (Paris, 5: 48 p.)
- I.F.C.C., 1978. Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers. Résultats des études et des expérimentations réalisées au

- Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce *Coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966. I.F.C.C., 14. Paris.
- KRUG, C.A. et CARVALHO A. 1951. The genetics of coffee. *Advances in genetics*, 4: 127-168.
- KRUG C.A, CARVALHO A., ANTUNES FILHO H., 1954. *Genetica de Coffea*. XXI. Hereditariedade dos caracteristicos de *Coffea arabica* L. var. Laurina. *Bragantia*, 13: 247-255.
- LANAUD C., 1979. Etude de problèmes génétiques posés chez le caféier par l'introgession de caractères d'une espèce sauvage (*C. kianjavatensis: Mascarocoffea*) dans l'espèce cultivée *C. canephora* *Eucoffea*; *Café, Cacao, Thé*, XXIII (1): 3-28.
- LEBRUN J., 1941. Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo. *Mémoire de Inst. Royal Colonial Belge*.
- LEMORDAN D., 1971. Contribution à l'ethnobotanique éthiopienne, *J. Agri. Trop. Bot. Appl.*, XVII, (4-5-6): 142-179.
- LE PIERRES D., 1977. Conservation des ressources naturelles dans le genre *Coffea*. Protocoles d'étude et d'installation des collections et des essais. Abidjan, Centre ORSTOM Adiopodoumé, IFCC Divo, 1977: 60 p.
- LEROY J.P., 1962. A propos du *Coffea lebruniana*; sa présence au Gabon. Note sur l'*Argocoffea rupestris* (Hiern) Lebrun. *J. Agric. Trop. Bot. App.*, 9 (7-10): 420-422.
- LEROY J.F., 1967. Recherches sur les caféiers. Sur la classification biologique des caféiers et sur l'origine et l'aire du genre *Coffea*. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 265: 1043-1045.
- LEROY J.P., 1968. Notice sur les titres et travaux scientifiques de J.F. Leroy. *Imp. Monnoyer (Le Mans)*, fascicule II, 38 p.
- LEROY J.F., 1980. Evolution et taxogénèse chez les caféiers. Hypothèse sur leur origine. *C.R.Acad. Sci.*, Paris, 291: 593-596.
- LOUARN J., 1972. Introduction à l'étude génétique des *Mascarocoffea*: Nouvelles déterminations de leurs nombres chromosomiques. *Café, Cacao, Thé*, XVI (4): 312-315.
- LOUARN J., 1976. Hybrides interspécifiques entre *Coffea canephora* Pierre et *C. eugenoides* Moore. *Café, Cacao, Thé*, XX (1): 433-452.
- LOUARN J. 1977. Les hybrides entre *Coffea canephora* Pierre et *C. eugenoides* Moore: exemple de croisement entre espèces de *Coffea* diploïdes africains pour l'amélioration qualitative des cafés produits en « basse altitude ». 8ème Coll. Inter. ASIC. Abidjan, 1977: 407-410.
- LOUARN J., 1980. Hybrides interspécifiques entre *Coffea canephora* et *C. liberica*. Résultats préliminaires sur les hybrides F1. *Café, Cacao, Thé*, 24 (4): 297-304.
- MARSHALL D.R., BROWN A.H.D., 1974. Optimum sampling strategies in genetic conservation. In: *Crop genetic resources for today and tomorrow*.
- MAYNE W.W., 1932. Physiological specialisation of *Hemileia vastatrix* B and Br. *Nature*, 129 (3257): 510.
- MENDES A.J.T., BACCHI O., 1940. Observações citológicas em *Coffea*. V. Uma variedade haploide de *C. arabica* L. *Bol. Tech.* 77, Campinas, Brasil.
- MONACO L.C., CARVALHO A., 1975. Coffee breeding for leaf rust resistance. 7e Congres ASIC, Hambourg 1975: 437-445.

- MONACO L.C., MEDINA D.M., 1965. Híbridações entre *Coffea arabica* e *C. kapakata*. Análise citológica de um híbrido triploide Bragantia, 24: 191-201.
- NORONHA-WAGNER M., BETTENCOURT A.J., 1967. Genetic study of the resistance of *Coffea* sp. to leaf rust. I. Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* L. to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. Can. Jour. Bot., 45: 2012-2031.
- PAYNE R.C., FAIR BROTHERS D.E., 1976. Disc electrophoretic evidence for heterozygosity and phenotypic plasticity in selected lines of *Coffea arabica* L. Bot. Gaz., 137 (1): 1-6.
- PORTERES R., 1937. Etude sur les caféiers spontanés de la section *Eucoffeea*. Annales agricoles Afric. Oc. et Etrangères. 1ère Partie: Répartition, habitat 1937 (1): 68-91, 2ème partie: Espèces, variétés, formes, 1937, (1), 2: 219-263.
- PURSEGLOVE J.W., 1968. Tropical crops, Dicotyledons. Longman, London, 719 p.
- REYNIER J.F., PERNES J., CHAUME R., 1978. Diversité observée sur les descendances issues de pollinisation libre au Tonkoui. I.F.C.C., 14: 69-74.
- SISJON V.A., BRIM C.A., LEVING C.S., 1978. Characterization of cytoplasmic diversity in Soybeans by restriction endonuclease analysis. Crop Sci. 18 (6): 991-996.
- SACCAS A.M., CHARPENTIER J., 1971. La rouille des caféiers due à *Hemileia vastatrix* B et Br. I.F.C.C., 10: 123 p.
- THOMAS A.S., 1944. The wild coffees of Uganda. Emp. J. Exper. Agri., 12: 1-12.
- VAN DER VOSSSEN H.A.M., 1978. Methods of preserving the viability of coffee seed in storage. Seed Sciences and Technology, 6.
- VAN DER VOSSSEN H.A.M., WALYARO D.J., 1980. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. Euphytica, 29 (3): 777-791.
- WALYARO D.J., VAN DER VOSSSEN H.A.M., 1977. Pollen longevity and artificial cross pollination in *Coffea arabica*. Euphytica 26 (1): 225-231.
- WELLMAN F.L., 1961. Coffee: botany, cultivation and utilisation. Leonard Hill, New York: 488 p.

Berthaud Julien, Charrier André, Guillaumet Jean-Louis,
Lourd Maurice (1984)

Les caféiers

In : Pernès Jean (dir.), Berthaud Julien (collab.),
Bezançon Gilles (collab.), Charrier André (collab.),
Combes Daniel (collab.), Leblanc Jean-Marc (collab.),
Lourd Maurice (collab.), Savidan Yves (collab.), Second
Gérard (collab.). *Gestion des ressources génétiques des
plantes : tome 1- Monographies*

Paris : Agence de Coopération Culturelle et Technique,
p. 43-104

ISBN 1-92-9028-044-1