

Cette première partie comporte, d'abord, un rappel des modes de distribution des variétés de caféiers, un bref historique des débuts de la sélection et une caractérisation du matériel végétal disponible. Les aspects théoriques de la sélection et la description des variétés attendues donnent la clé des choix pour le type de schéma et les critères de sélection à mettre en œuvre.

Amélioration variétale de *Coffea canephora*

I. Critères et méthodes de sélection

Montagnon C.¹, Leroy T.², Eskes A.B.³

¹ CIRAD-CP, Institut des Forêts / Département Café Cacao (IDEFOR/DCC), 01 BP 1827, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

² CIRAD-CP, Centre de recherche Nestlé, 101 avenue Gustave Eiffel, BP 9716, 37097 Tours Cedex 2, France

³ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Le café produit par *Coffea canephora* est d'une importance économique majeure pour bon nombre de pays de la zone intertropicale. La culture de *C. canephora* à grande échelle a, tout juste, 100 ans. En un siècle, de nombreux travaux en agronomie et en amélioration variétale ont augmenté son potentiel de production. Toutefois, ces dernières décennies, l'amélioration variétale a été délaissée, sauf dans quelques pays comme la Côte d'Ivoire. L'amélioration variétale pourrait résoudre certains problèmes que pose cette culture : amélioration de la rentabilité, résistance aux aléas parasitaires, amélioration de la qualité à la tasse, adaptation aux débouchés spécifiques tel le soluble, respect de l'environnement...

Cet article fait le point sur les méthodes d'amélioration possibles de *C. canephora* en proposant des éléments de choix et des aides à la décision pour un programme à mettre en œuvre.

Biologie de *C. canephora*

C. canephora est une plante diploïde ($2n = 22$), à fleurs hermaphrodites et strictement allogames du fait d'une incompatibilité gamétophytique (Berthaud, 1980 ; Lashermes *et al.*, 1996). L'espèce peut fleurir une ou plusieurs fois par an, après une pluie d'au moins 10 mm qui suit une période de stress hydrique. Dans les zones proches de l'équateur, sans saison sèche marquée, des floraisons peuvent avoir lieu toute l'année. La période de maturation des baies varie, selon la variété et l'environnement, de 8 à 12 mois. Le pouvoir germinatif des graines se conserve de quatre à six mois, mais peut être prolongé de un à deux ans par des méthodes relativement simples (Couturon, 1980).

C. canephora a une croissance dimorphe : les tiges principales (axes orthotropes) ont une croissance verticale et les branches (axes plagiotropes) une croissance

horizontale. Le bouturage horticole est relativement aisé (Capot, 1966).

Types de variétés

Les variétés traditionnelles de *C. canephora* sont des populations hétérogènes, issues de semences. Les variétés sélectionnées sont des mélanges de descendance hybrides ou des mélanges de clones. L'utilisation de mélanges est nécessaire à cause de l'allogamie stricte de *C. canephora*. Les hybrides sont appelés « hybrides de clones », car les parents sont hétérozygotes. Ceci veut dire qu'à l'intérieur de ces hybrides une certaine variabilité génétique est rencontrée. Seuls les hybrides obtenus récemment à partir d'haploïdes doublés (Couturon, 1986) peuvent être appelés de vrais hybrides « F1 ». Les semences hybrides sont produites dans les champs semenciers bi- ou polyclonaux. Ceux-ci doivent être isolés d'autres plantations de caféiers et les graines ne sont pas récoltées sur les arbres de bordure pour éviter d'introduire des combinaisons non désirées dans le champ semencier. Les parents présents dans le champ semencier doivent avoir une période commune de floraison. Il est, toutefois, possible de retarder la floraison des caféiers précoces soit en les irriguant (pour éviter le stress hydrique), soit en leur faisant subir un recépage tardif qui décale leur cycle physiologique. Un hectare de champ semencier produit en moyenne 500 kg de semences utiles correspondant à environ 2 000 ha de plantations.

Pour la reproduction des variétés clones, le bouturage de rameaux orthotropes non aoûtés, avec une phase d'enracinement en bac suivie du repiquage en sachet, est largement utilisé (Capot, 1966). Le bouturage direct sous tunnel (Charmetant, 1988) améliore l'efficacité de cette technique. Un hectare de parc à bois peut produire jusqu'à deux millions de boutures par an permettant la plantation d'environ 1 000 ha (Capot, 1966).

Les développements récents de techniques *in vitro* de microbouturage et d'embryogenèse somatique (Yasuda *et al.*, 1985 ; Zamarripa *et al.*, 1991 ; Berthouly et Michaux-Ferrière, 1996) permettent d'envisager des taux de multiplication élevés. Ces techniques sont encore peu utilisées, sauf en Ouganda où la technique d'embryogène-

se somatique par immersion temporaire, (RITA) mise au point par le Cirad (Berthouly *et al.*, 1995), est employée.

La biologie de *C. canephora* permet au sélectionneur de s'orienter vers la production, soit d'hybrides de clones distribués par semences, soit de clones distribués par boutures. Dans beaucoup de pays producteurs, le choix s'est porté sur les clones, plus producteurs et homogènes que les hybrides. Cependant, le coût de production des boutures est en moyenne dix fois supérieur à celui des semences. La création de nouvelles générations d'hybrides très performants pourrait réorienter la stratégie de distribution.

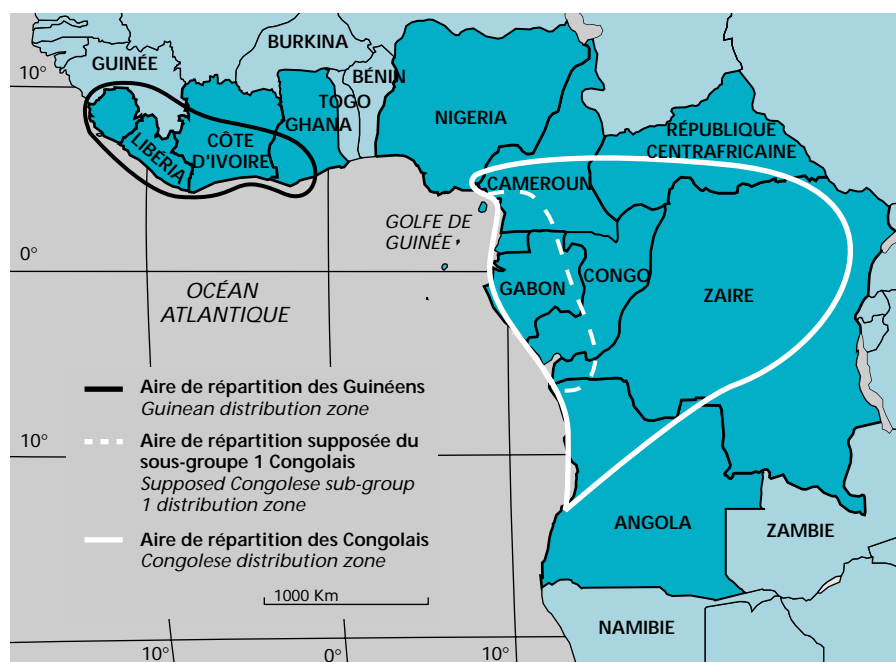
Historique de la culture et prospections

L'aire naturelle de répartition de *C. canephora* s'étend de l'ouest au centre de l'Afrique (carte). Sa culture remonte au XIX^e siècle en Ouganda et dans la partie orientale du bassin du Congo. Au début du XX^e siècle, des graines de *C. canephora* originaires d'Afrique centrale furent envoyées à Java où débutèrent les premiers travaux de sélection. La variété « Robusta » de *C. canephora* est sélectionnée et remplace alors rapidement *C. arabica*, victime de la rouille orangée, dans les zones de basse altitude d'Asie du Sud-Est. Dès 1910, des variétés sélectionnées à Java reviennent sous forme de semences en Afrique centra-

le. En Afrique occidentale, des populations locales émergent et prennent le statut de variétés. Il s'agit notamment du « Niaouli » du Bénin (ex-Dahomey), du « Kouillou » du Gabon ou encore du « N'Ganda » en Ouganda. Ces différents types de variétés sont introduits par vagues successives dans la plupart des pays producteurs, y compris le Brésil. Dans la deuxième moitié du XX^e siècle, un certain nombre de variétés ou populations est donc disponible pour l'amélioration génétique. A celles-ci, s'ajoutent des caféiers sauvages prospectés conjointement par l'IRCC¹ et l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom). Ces prospections sont réalisées sur la plus grande partie de l'aire de répartition de *C. canephora*. A ce jour, le Gabon et la zone Nord-Est Zaïre-Ouganda restent à prospecter.

Caractérisation et diversité du matériel végétal disponible pour la sélection

Le matériel disponible pour la sélection est conservé dans des parcelles de collection *ex situ* dont les plus riches se trouvent en Côte d'Ivoire. On distingue deux grandes catégories de collection : les collections de caféiers sauvages, ne comprenant que des génotypes prospectés en milieu sylvestre, et les collections de travail, rassemblant tous



Carte. Aires de répartition de *Coffea canephora* et de ses différents groupes et sous-groupes. Distribution zones of *Coffea canephora* and its different groups and sub-groups

(1). Ex-Institut de recherche du café et du cacao, devenu département des cultures pérennes du Centre international en recherche agronomique pour le développement (Cirad-Cp).

les caféiers cultivés ou sélectionnés (variétés et populations locales, prospections en plantations villageoises, sélection sur stations de recherche...). La caractérisation génotypique et phénotypique de ces collections a permis d'étudier la diversité du matériel qui les compose.

Dans les années 80, grâce à la technique de l'électrophorèse d'isozymes, deux groupes génétiques ont été identifiés au sein des populations sylvestres de *C. canephora* : les Guinéens (région Guinée, Côte d'Ivoire) et les Congolais (Afrique centrale : République centrafricaine, Congo, Cameroun) (Berthaud, 1986) (carte). Par la suite, il a été montré, par la même technique, que les génotypes congolais disponibles pour la sélection se répartissaient en deux sous-groupes : le sous-groupe 1 réunissant des variétés cultivées originaires du Gabon et du Bénin, et le sous-groupe 2 comprenant des génotypes sauvages et les origines cultivées d'Afrique centrale continentale (Montagnon *et al.*, 1992) (carte). D'un point de vue historique, il est intéressant de replacer les anciennes appellations « Robusta » et « Kouillou » qui étaient définies sur des critères uniquement morphologiques (Cordier, 1961 ; Portères, 1959). Le groupe Guinéen rassemble les variétés dites « Kouillou » originaires de Côte d'Ivoire. Le sous-groupe 1 Congolais regroupe les variétés dites « Kouillou » originaires d'une zone allant du Bénin au Gabon. Le sous-groupe 2 Congolais comprend toutes les variétés anciennement dénommées « Robusta » toutes originaires d'Afrique centrale (Montagnon *et al.*, 1992).

La diversité génotypique du matériel disponible en sélection est résumée sur un dendrogramme (figure 1) et les caractéristiques de chaque groupe dans les tableaux 1 et 2. Les groupes Guinéens et Congolais sont identifiés grâce à trois loci discriminants PGD1, ICD et PAC. Les deux sous-groupes Congolais sont différents pour les loci ESTB, PGI et PGH. Les différences phénotypiques, étudiées par Berthaud (1986), Montagnon *et al.* (1992), Leroy *et al.*, (1993), Montagnon et Leroy (1993), Montagnon *et al.* (1993a), Montagnon *et al.* (1993b), Montagnon *et al.* (1994), Moschetto *et al.* (1996) se résument ainsi :

- les Guinéens : petites feuilles rondes, fruits au disque plat, petits grains à forte teneur en caféine, plants ramifiés, précoces, généralement sensibles à la rouille orangée mais résistants à la sécheresse et au scolyte des branchettes. La qualité à la tasse est médiocre ;

- les Congolais du sous-groupe 1 : feuilles de taille moyenne et effilées, gros grains avec une forte teneur en caféine, plants généralement bien ramifiés, très tardifs, moyennement résistants à la rouille orangée, très résistants au scolyte des branchettes et à la sécheresse. Le café boisson allie, en général, arôme, corps et amertume et, parfois, une faible acidité ;
- les Congolais du sous-groupe 2 : feuilles grandes et larges, gros grains (sauf les représentants sauvages) et faible taux de

caféine, plants peu ramifiés, moyennement tardifs, très résistants à la rouille orangée, sensibles à la sécheresse et au scolyte des branchettes. Le café boisson présente un bon arôme et une faible acidité et, généralement, un corps et une amertume moyens, typiques pour le café Robusta ;

- les clones issus d'hybrides entre Guinéens et Congolais peuvent présenter des caractéristiques de boisson très variables.

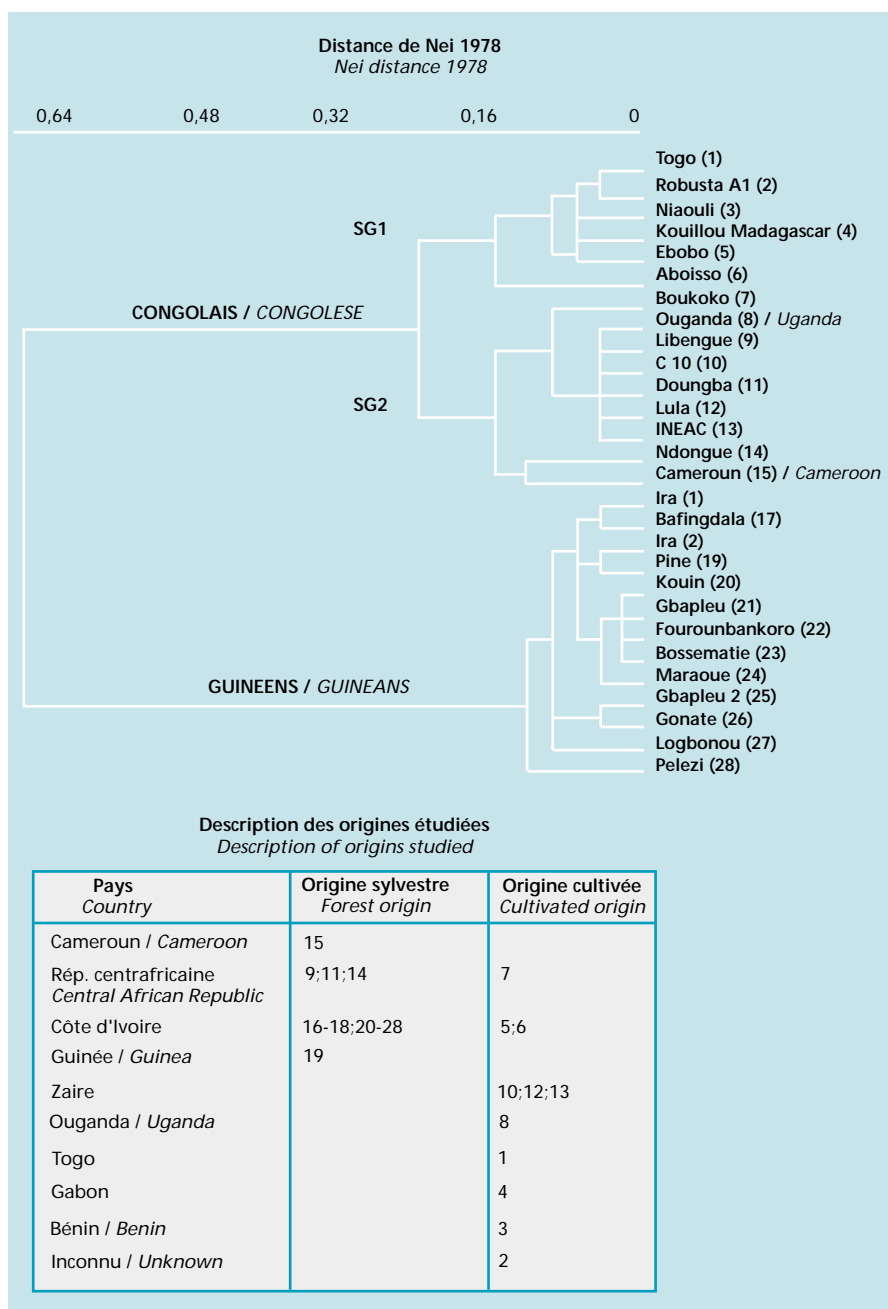


Figure 1. Dendrogramme illustratif de la diversité du matériel végétal de *Coffea canephora*, disponible pour la sélection, obtenu à partir de données isozymiques sur neuf loci (Montagnon *et al.*, 1992). / Dendrogram illustrating the diversity of *Coffea canephora* planting material available for breeding, obtained from isozyme data on nine loci (Montagnon *et al.*, 1992).

Tableau 1. Fréquences alléliques pour les principaux loci isozymiques du groupe Guinéen et des deux sous-groupes Congolais de *Coffea canephora*. / Allelic frequencies for the main isozymic loci of the Guinean group and the two Congolese sub-groups of *Coffea canephora*.

	Effectif Numbers	Congolais / Congolese			Guineen / Guineans
		SG1	SG2		
		Cultivés Cultivated	Cultivés Cultivated	Sauvages Wild	
		84	105	91	174
Locus	Allèle / Allele				
PGD1	P	0,02	0,04	0,06	0,96
	R	0,98	0,96	0,94	0,04
ICD	D	0	0	0,05	0,94
	F	1	1	0,95	0,06
PAC	E	0	0	0,09	0,87
	H	0,83	0,90	0,81	0,05
	I	0,11	0,04	0	0
PGM	F	0,47	0,14	0,29	0,85
	H	0,53	0,86	0,71	0,12
ESTB	G	0,16	0,86	0,86	0,96
PGI	D	0,82	0,33	0,07	0,47
	F	0,13	0,67	0,92	0,21
	H	0,05	0	0,01	0,28

D'après Berthaud (1986) et Montagnon et al. (1992). / According to Berthaud (1986) and Montagnon et al. (1992).

Méthodes d'amélioration de *C. canephora*

La sélection adaptative

Pour la sélection adaptative, il n'y a pas de création de matériel végétal, mais seulement des tests d'adaptation de variétés pré-existantes. Il peut s'agir : de clones introduits d'autres pays, de clones issus d'arbres élites repérés dans des plantations locales et dans des variétés hybrides de clones introduites ou locales. Les essais de comparaison avec dispositif statistique peuvent être précédés d'une évaluation simple en collection, en particulier si le nombre de variétés introduites (clones ou hybrides) est important.

Création variétale

La base de la création variétale est la recombinaison de caractères favorables dans les croisements entre génotypes sélectionnés. Classiquement, cette recombinaison est orientée par le choix de géniteurs identifiés pour leur AGC et, éventuellement par leur ASC (encadré 1).

L'évaluation de l'AGC est relativement simple. En revanche, l'évaluation de l'ASC implique la réalisation d'un grand nombre de fécondations contrôlées (Capot, 1964). Les études de diversité génétique permettent de mieux orienter le choix des géniteurs à recombinaison. Des croisements entre les deux groupes, Congolais et Guinéens, sont en moyenne plus vigoureux et plus pro-

ductifs que les croisements à l'intérieur de ces groupes (Berthaud, 1986 ; Leroy *et al.*,

1993). Des schémas de sélection récurrence réciproque (SRR) permettent d'exploiter l'AGC ainsi que l'ASC.

■ AGC et ASC

L'Aptitude générale à la combinaison (AGC) d'un génotype est égale à la valeur moyenne en croisement de ce génotype. On estime l'AGC par la moyenne d'une famille de demi-frères obtenue par fécondation libre du génotype ou par le moyen de descendance légitimes (croisements contrôlés).

L'Aptitude spécifique à la combinaison (ASC) représente les interactions entre les apports gamétiques de deux génotypes. C'est la différence entre la valeur observée du croisement et la somme de l'AGC des deux génotypes parents.

Si N géniteurs doivent être testés pour leur AGC, il suffit, en principe, de récolter des graines en fécondations libres sur les N génotypes et de comparer les N familles de demi-frères. En revanche, pour comparer les ASC (deux à deux), il faut réaliser N (N + 1)/deux fécondations contrôlées et comparer toutes ces familles de plein-frères.

N	N (N + 1)/2
5	15
10	55
20	210
50	1 275

Très rapidement, le test de l'ASC devient très lourd, le choix des géniteurs à tester doit donc être très raisonné, par exemple en n'utilisant que les géniteurs ayant une bonne AGC.

Les choix pour entamer un programme d'amélioration

Variétés hybrides ou clonales ?

Le coût de production d'un plant issu de semence est très inférieur à celui d'un plant issu de bouture (Losch *et al.*, 1992). Malgré cela, de nombreux pays ont opté pour la production de variétés clonales qui sont plus homogènes et plus productives que les variétés hybrides (Capot, 1977). Cependant, depuis le début des années 80, des croisements entre les groupes Guinéens et Congolais se sont montrés supérieurs aux meilleures variétés clonales, jusqu'à présent distribuées aux planteurs (Leroy *et al.*, 1993). Dans le cas où ces résultats se confirmeraient à grande échelle, la distribution de variétés hybrides pourrait être reconsidérée.

Variabilité génétique disponible

Un programme de sélection visant à la distribution de semences hybrides devrait disposer de génotypes des deux grands groupes Guinéens et Congolais afin d'exploiter la vigueur hybride intergroupe. Actuellement, tous les pays producteurs disposent de génotypes Congolais ; il n'y a guère que la Côte d'Ivoire et la Guinée à posséder des génotypes du groupe Guinéen.

Tableau 2. Caractéristiques phénotypiques du groupe Guinéen et des deux sous-groupes Congolais de *Coffea canephora*.
Phenotypic characteristics of the Guinean group and the two Congolese sub-groups of Coffea canephora.

	Caractère <i>Character</i>	Congolais / <i>Congolese</i>			Guinéen / <i>Guineans</i>	
		SG1	SG2			
		Cultivés <i>Cultivated</i>	Cultivés <i>Cultivated</i>	Sauvages <i>Wild</i>	Cultivés <i>Cultivated</i>	Sauvages <i>Wild</i>
Effectif <i>Numbers</i>		84	105	36 à 90	39	70 à 135
Feuilles <i>Leaves</i>	Longueur des feuilles <i>Leaf length (mm)</i>	188	203	221	170	176
	Largeur des feuilles <i>Leaf width (mm)</i>	71	82	93	68	75
	Forme des feuilles (Longueur/largeur) <i>Leaf shape (length/width)</i>	2,68	2,49	2,38	2,53	2,36
	Acumen	Court à long <i>Short to long</i>	Long	Long	Long	Long
	Pétiole / <i>Petiole</i>	Court à long <i>Short to long</i>	Moyen à long <i>Medium to long</i>	Long	Court à long <i>Short to long</i>	Moyen à long <i>Medium to long</i>
	Domaties <i>Domatia</i>	Absentes à bien visibles <i>Absent to clearly visible</i>	Peu marquées à bien visibles <i>Insignificant to clearly visible</i>	Peu marquées à bien visibles <i>Insignificant to clearly visible</i>	Peu marquées à bien visibles <i>Insignificant to clearly visible</i>	Peu marquées à bien visibles <i>Insignificant to clearly visible</i>
Fruits	Pédoncule fruit <i>Fruit stalk</i>	Court à moyen <i>Short to medium</i>	Court à moyen <i>Short to medium</i>	Court à long <i>Short to long</i>	Court à long <i>Short to long</i>	Court à long <i>Short to long</i>
	Taille du disque <i>Disc size</i>	Petit <i>Small</i>	Petit <i>Small</i>	Petit <i>Small</i>	Grand <i>Large</i>	Petit <i>Small</i>
	Relief du disque <i>Disc shape</i>	Plat à saillant <i>Flat to domed</i>	Saillant <i>Domed</i>	Plat à saillant <i>Flat to domed</i>	Plat <i>Flat</i>	Plat <i>Flat</i>
	Granulométrie (g pour 100 grains 12% humidité) <i>Bean size (g for 100 beans, 12% moisture)</i>	14,2	15,4	9,5	10,0	9,0
	Ramification <i>Branching</i>	Moyenne à forte <i>Medium to high</i>	Faible à moyenne <i>Slight to medium</i>	Faible à moyenne <i>Slight to medium</i>	Moyenne à forte <i>Medium to high</i>	Moyenne à forte <i>Medium to high</i>
Divers <i>Miscellaneous</i>	Longueur entrenœuds <i>Internode length</i>	Moyen à court <i>Medium to short</i>	Long	Long	Court <i>Short</i>	Court <i>Short</i>
	Phénologie <i>Phenology</i>	Très tardifs <i>Very late</i>	Moyennement tardif <i>Moderately late</i>	Moyennement tardif <i>Moderately late</i>	Précoces <i>Early</i>	Précoces <i>Early</i>
	Caféine (% matière sèche) <i>Caffeine (% dry matter)</i>	2,7	2,3	2,3	2,9	2,6
	Rouille orangée (% de plants résistants) <i>Leaf rust (% resistant plants)</i>	73	84	97	31	28
	Scolyte des branchettes (% de plants résistants) <i>Twig borer (% resistant plants)</i>	94	73	50	88	77
	Résistance à la sécheresse <i>Drought resistance</i>	Bonne <i>Good</i>	Faible <i>Poor</i>	Faible <i>Poor</i>	Bonne <i>Good</i>	Bonne <i>Good</i>
	Qualité organoleptique <i>Organoleptic quality</i>	Bons arômes et acidité Amertume et corps moyens <i>Good aroma and acidity Average bitterness and body</i>	Bons arômes et acidité Faibles amertume et corps <i>Good aroma and acidity Poor bitterness and body</i>	Bons arômes et acidité Faibles amertume et corps <i>Good aroma and acidity Poor bitterness and body</i>	Faibles arômes et acidité Faibles amertumes et corps <i>Poor aroma and acidity Poor bitterness and body</i>	Faibles arômes et acidité Faibles amertumes et corps <i>Poor aroma and acidity Poor bitterness and body</i>

Pour estimer la variabilité génétique disponible dans un pays, on peut s'aider des cahiers d'introduction ou bien confronter la diversité phénotypique

observée à celle décrite dans la littérature (tableau 2). Dans certains cas, la mission d'un expert apportera une réponse rapide et précise.

Délai de réalisation du programme

La figure 2 donne une représentation schématique des voies possibles aboutissant à la distribution de nouvelles variétés. La durée

minimale d'un programme est de 23 ans pour la distribution de boutures issues de la sélection adaptative de clones introduits d'autres pays et de 31 ans pour la distribution de boutures issues de clones repérés dans des essais d'hybrides sélectionnés pour l'ASC. Ces délais peuvent être réduits, soit en diminuant la durée de la phase de confirmation, soit en passant directement à cette phase si le nombre de variétés à comparer est faible.

On augmente la complexité du programme en passant de la sélection adaptative à la sélection créatrice, utilisant d'abord l'AGC puis l'ASC. Cependant, ce schéma n'est pourtant pas toujours le plus efficace. Dans la plupart des pays, la sélection d'hybrides basée sur l'AGC a débuté avec, comme géniteurs, les meilleurs clones identifiés par la sélection adaptative. Or, il n'y a pas de raison *a priori* pour que ces clones haut-producteurs soient de bons géniteurs.

La mise en place d'un programme de création variétale sera plus pertinent et efficace en utilisant des géniteurs performants représentatifs de la diversité de *C. canephora*. Ceci nécessite un échange accru d'informations sur l'amélioration de cette espèce dans le monde et/ou des échanges de matériel végétal. Un exemple intéressant est la constitution du Réseau de recherche caféière en Afrique (Reca).

Critères de sélection et méthodologie d'évaluation

Quelles variétés pour demain ?

Jusqu'à une période récente, la priorité de sélection était d'obtenir des variétés hautement productives, sans tenir compte spécifiquement de la qualité du café produit, de la résistance aux maladies et aux insectes et de la capacité à produire en réduisant les intrants. Plusieurs évolutions ont contribué à revoir les priorités de sélection : instabilité des cours mondiaux du café et nécessité de baisser les coûts de production, épuisement des fronts pionniers et replantation sur jachère, éducation des consommateurs à l'appréciation de la qualité du café, montée en puissance de la notion de protection et conservation de l'environnement.

Les variétés de demain devront donc présenter un fort potentiel de production d'un café de bonne qualité organoleptique, tout en réduisant les coûts de production en intrants et main-d'œuvre et en respectant l'environnement.

Les critères de sélection à mettre en œuvre (tableau 3)

Qualité du café produit

La qualité comprend l'ensemble des caractéristiques physiques, chimiques et aromatiques souhaitées et attendues de façon régulière par les torréfacteurs et les consommateurs. Ceci ne sous-entend donc pas uniquement les cafés du type « cafés gourmets ». Les critères retenus pour augmenter la qualité du café produit sont la granulométrie et le potentiel organoleptique (évalué par des dégustations). Toutefois, des critères de sélection liés à des débouchés très précis comme le potentiel extractible pour la fabrication du café soluble ne doivent pas être oubliés. La résistance au scolyte des baies, ainsi que le groupement de la maturité des fruits, améliorent indirectement la qualité. La demande concernant la teneur en caféine varie.

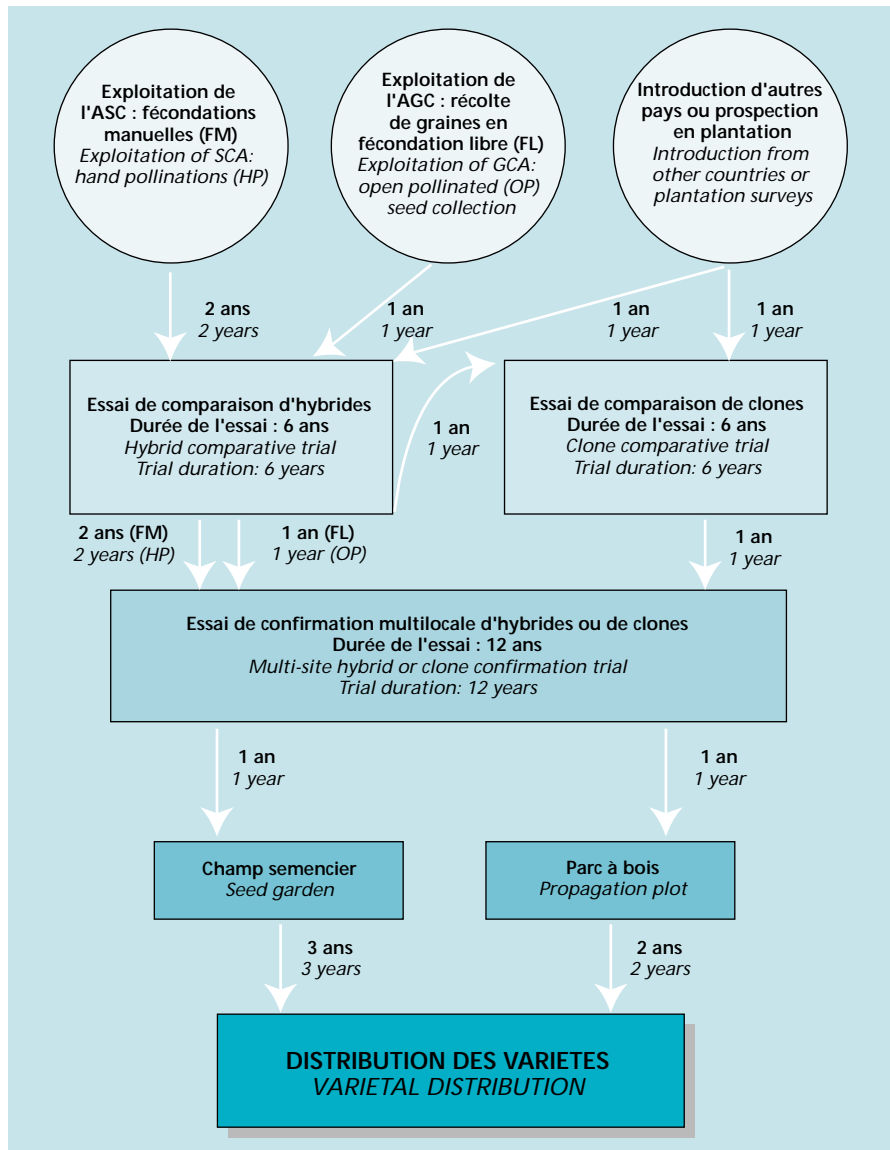


Figure 2. Représentation schématique des différents programmes de sélection possibles de *Coffea canephora* et de leur durée. / Diagram of the different possible *Coffea canephora* breeding programmes and their duration.

Nota : La durée d'un programme est calculée en additionnant les nombres d'années rencontrées sur le parcours. Ex : distribution de boutures à partir de clones introduits : $1 + 6 + 1 + 12 + 1 + 2 = 23$ ans. / NB: The duration of a programme is calculated by adding the number of years covered along the way, e.g. cuttings distribution from introduced clones = $1 + 6 + 1 + 12 + 1 + 2 = 23$ years.

Distribution de boutures après utilisation à l'ASC pour la création d'hybrides = $2 + 6 + 1 + 6 + 1 + 12 + 1 + 2 = 31$ ans. / Cutting distribution after using SCA to create hybrids = $2 + 6 + 1 + 6 + 1 + 12 + 1 + 2 = 31$ years.

Distribution de semences à partir de l'utilisation de l'AGC = $1 + 6 + 1 + 12 + 1 + 3 = 24$ ans. / Seed distribution from use of GCA = $1 + 6 + 1 + 12 + 1 + 3 = 24$ years.

Tableau 3. Liste des critères de sélection et influence sur les contraintes de la caféiculture. / List of selection criteria and impact on the constraints on coffee growing.

Influence favorable pour / Favourable impact on					
	la qualité du café produit <i>coffee quality</i>	la réduction des intrants <i>reducing inputs</i>		la réduction de la main-d'œuvre <i>reducing labour requirements</i>	la préservation de l'environnement <i>environmental conservation</i>
Critère de sélection <i>Selection criterion</i>		Engrais Pesticides <i>Fertilizer Pesticides</i>	Herbicide		
Augmentation taille des grains <i>Increased bean size</i>	+++			++	
Critères organoleptiques <i>Organoleptic criteria</i>	+++				
Teneur en caféine <i>Caffeine content</i>	?				
Potentiel extractible <i>Extraction potential</i>	+				
Maturité groupée <i>Concentrated ripening</i>	+++	+		+++	+
Vigueur au jeune âge <i>Vigour when young</i>					++
Optimum de production à faible dose d'engrais <i>Optimum yield with low fertilizer rates</i>		+++		+	++
Résistance/tolérance rouille orangée <i>Leaf rust resistance/tolerance</i>		++		+	++
Résistance au scolyte des baies <i>Coffee berry borer resistance</i>	++	+++		+	+++
Résistance au scolyte des branchettes <i>Twig borer resistance</i>		+			+
Architecture : petite taille, ramification <i>Architecture: small size, branching</i>			++	+++	+++
Adaptation à l'écimage <i>Suitability for topping</i>			+++	+	
Faible production de gourmands <i>Few suckers produced</i>				+++	

En général, une diminution est souhaitée, mais *C. canephora* tient aussi des marchés pour lesquels cette teneur est nécessaire.

Augmentation de la rentabilité et de la productivité

- La productivité reste le critère de sélection le plus important. Grâce aux nouvelles variétés sélectionnées, le planteur peut espérer des productions supérieures à deux tonnes de café marchand à l'hectare, s'il travaille avec un niveau d'intensification suffisant ;
- la réduction des intrants : les résistances aux maladies et insectes diminuent le coût des intrants. La maturité groupée

contribue à diminuer la pullulation du scolyte des baies, donc aussi l'utilisation de pesticides. La sélection de variétés moins dépendantes de l'apport d'engrais diminue, évidemment, la part engrais des intrants. Des variétés avec une architecture adaptée à de fortes densités ou à l'écimage contribueraient à réduire l'enherbement et donc l'utilisation d'herbicides ;

- la réduction de la main-d'œuvre : la maturité groupée diminue le nombre de passages de récolte. De gros grains facilitent la récolte, le décorticage et le vannage. La réduction de la main-d'œuvre va de pair avec la diminution des

intrants et donc du temps d'épandage. Enfin, la sélection de variétés produisant peu de gourmands réduit le temps d'épandage.

Préservation de l'environnement

Toute diminution d'intrants contribue à la préservation de l'environnement. Pour bénéficier de la grande fertilité des sols forestiers, la tentation est grande d'abattre la forêt pour y implanter des caféières. Des variétés rustiques et vigoureuses au jeune âge, dépendant moins de la qualité des sols, permettent plus facilement de créer des caféières après des jachères.

Installation de parcelles d'essai

Dispositif statistique

Quels que soient les objets comparés (clones ou hybrides), deux types de dispositifs statistiques peuvent être employés pour *C. canephora* : dispositif en blocs de Fisher (un bloc est constitué en général d'une ligne de cinq à dix caféiers) et la randomisation totale de parcelles monoarbres. Dans la plupart des cas, le dispositif en bloc de Fisher est utilisé car il est plus facile à gérer. La randomisation totale de parcelles monoarbres procure un gain de précision sensible, en particulier sur les parcelles à forte microhétérogénéité (Charmetant et Leroy, 1990). Toutefois, elle est plus difficile à mettre en œuvre au niveau de la gestion informatique et du temps d'observation (arbre par arbre). Seuls les programmes d'amélioration déjà bien avancés et disposant de suffisamment de moyens humains et financiers peuvent amortir cet investissement scientifique. Le nombre minimum d'individus par objet est estimé à 30 pour les clones et 45 pour les descendances hybrides, dans le cas de la randomisation totale, et respectivement à 40 et 60 dans le cas des blocs de Fisher.

Techniques culturales appliquées dans les essais d'amélioration variétale

Il n'est pas rare qu'un décalage important existe entre les techniques culturales optimales recommandées par la recherche et leur degré d'application, généralement faible, par les caféiculteurs. Une réflexion doit donc être menée pour réorienter les recommandations en matière de techniques culturales afin de les adapter aux contraintes des paysans. Ces nouvelles techniques culturales peuvent être testées en deuxième facteur d'un essai d'amélioration variétale. Ceci a pour intérêt de réduire le coût global de la recherche caféière (gain de surface et de temps) et d'identifier l'adaptation des variétés en cours de sélection à des niveaux différents de technicité ; parallèlement à l'étape de confirmation multilocale, des essais variétaux en milieu paysan sont à considérer.

Critères de sélection (encadré 2)

Certains critères de sélection peuvent répondre à des contraintes spécifiques de tel ou tel pays, par exemple l'adaptation à des sols hydromorphes en Papouasie-Nouvelle-Guinée (Charmetant *et al.*, 1993). La sécheresse peut être un facteur limitant dans certaines régions. Il est alors possible d'intégrer la résistance ou la tolérance à la

sécheresse comme critère de sélection (Montagnon et Leroy, 1993). Le criquet puant et diverses chenilles provoquent des dégâts importants dans certains pays. Toutefois, il paraît illusoire, dans le court terme, de créer des variétés résistantes à ces insectes. Seule la lutte chimique est efficace.

Quelques paramètres génétiques

Les différentes études de paramètres génétiques de *C. canephora* disponibles dans la littérature sont difficiles à comparer car utilisant du matériel végétal d'origines variées. Les héritabilités au sens strict, calculées sur des données individuelles, sont

élevées pour les caractères architecturaux (0,22 à 1,00) et moyennes pour la vigueur des arbres au jeune âge (0,13 à 0,48). L'héritabilité de la productivité de jeunes arbres est forte ($> 0,7$), mais elle est plus faible pour les récoltes des arbres plus âgés ($< 0,2$). Le poids de 100 fèves a une héritabilité moyenne (0,15 à 0,30). Les corrélations phénotypiques et génétiques entre la vigueur et la productivité des arbres sont élevées ($> 0,6$), mais pas entre la productivité et le poids de 100 fèves, critère important de la qualité du café (Leroy *et al.*, 1994). Ces résultats sont cohérents avec ceux rencontrés auparavant dans la littérature (Bouharmon *et al.*, 1986 ; Ravohitrarivo, 1980). La

■ Encadré 2. Evaluation des critères

- Le potentiel de production est estimé par le poids de cerises fraîches récoltées. Le cumul de quatre années de récolte, dont au moins deux bonnes années, est nécessaire pour évaluer correctement les objets en comparaison (Leroy *et al.*, 1994). Quand des mesures précises de récolte ne sont pas possibles, elles peuvent être substituées, avec un bon niveau de corrélation, par des évaluations visuelles de la capacité de production réalisées peu avant la récolte (Leroy, 1993) ;
- la taille des grains est estimée, soit par le poids de 100 grains à 12 % d'humidité relative, soit par le grade. Un échantillonnage sur plusieurs arbres ou blocs est réalisé. Cette évaluation doit être répétée au moins sur deux années de récolte ; de préférence, une année de forte et une année de faible récolte (Charmetant et Leroy, 1986) ;
- les critères organoleptiques sont évalués par la dégustation. Aucun marqueur biochimique fiable n'a été identifié à ce jour pour prédire telle qualité aromatique du café. Pour les dégustations, il est préférable de faire appel, en plus des structures nationales, à des centres spécialisés comme le Cirad et/ou à des industriels de la torréfaction (Moschetto *et al.*, 1996) ;
- le degré de maturité groupée s'entend à trois niveaux : celui de l'arbre, celui du clone ou de l'hybride et celui du mélange de clones ou d'hybrides. L'évaluation peut être simplement visuelle : note de 1 à 5. Un index peut également être calculé en divisant le poids de cerises récoltées lors du passage de récolte le plus important par le total de la récolte annuelle (Leroy, 1993) ;
- l'optimum de production à faible dose d'engrais s'évalue simplement en réduisant au minimum (restitution) les doses d'engrais, et en choisissant, pour les essais, des sols représentatifs des jachères du pays. Il est également possible de coupler les essais variétaux avec un facteur engrais et d'étudier ainsi les courbes de réponse à l'engrais de chaque variété en essai (Kibirige-Ssebunya *et al.*, 1993) ;
- la réaction à la rouille orangée s'évalue par une note visuelle de 1 à 5 (Montagnon *et al.*, 1994). Au moins deux évaluations sont nécessaires : en jeune âge et en année de forte production ;
- la sensibilité au scolyte des baies peut être évaluée par le comptage des grains piqués dans un échantillon de café produit par la variété. Une attention toute particulière devra alors être donnée à la méthode d'échantillonnage (Rémond *et al.*, 1995) ;
- la sensibilité au scolyte des branchettes est évaluée par le nombre de branchettes possédant au moins un trou du scolyte (Montagnon *et al.*, 1993a) ;
- l'architecture peut être évaluée, soit visuellement selon une notation de 1 à 5 établie par le sélectionneur (à réaliser après deux et six ans de plantation), soit en s'appuyant sur des mesures de hauteur, de plus longue primaire, du nombre d'entre-nœuds orthotropes et plagiotropes à 2 ans (Leroy *et al.*, 1994). A travers l'architecture des arbres, l'amélioration de l'indice de récolte (rapport entre la partie végétative de l'arbre et sa production) est visée. Il s'agit donc de sélectionner des arbres de petite taille, ramifiés et buissonnants ;
- l'adaptation à l'écimage ne peut être évaluée qu'en testant les clones conduits selon cette technique dans un essai à deux facteurs (variétés et mode de conduite) (Viroux et Petithuguenin, 1993) ;
- la production de gourmands peut s'évaluer en arrêtant d'égourmander les variétés pendant plusieurs mois et en effectuant une notation visuelle de 1 à 5.

transmission de la teneur en caféine serait de type additif (Le Pierrès, 1988).

Les interactions génotypes-environnement

Les interactions entre génotypes et environnement (années, lieux) ont été étudiées pour la sensibilité à la rouille orangée (Holguin *et al.*, 1993 ; Montagnon *et al.*, 1994) et pour la granulométrie (Charmetant et Leroy, 1986 ; Charrier et Berthaud, 1988). Peu d'études sont disponibles concernant la production. Il est noté que trois (Charrier et Berthaud, 1988) ou deux (Leroy *et al.*, 1994) récoltes peuvent être suffisantes pour estimer la production d'un cycle (cinq ans). Les interactions génotypes-lieu pour la production sont souvent importantes (Charrier et Berthaud, 1988), ce qui s'est traduit par des recommandations de différents mélanges clonaux selon les régions, au Cameroun (Bouharmont et Awemo, 1979) ou en Côte d'Ivoire (Capot, 1977).

Des études en cours en Côte d'Ivoire confirment l'existence de ces interactions et mettent en évidence l'importance des types de sol cultivés. Les essais multilocaux sont donc justifiés.

Des nouveaux outils pour l'amélioration variétale

Meilleure utilisation de la génétique quantitative

Les théories de la génétique quantitative ont récemment fait l'objet de créations de logiciels spécifiques adaptés aux attentes des sélectionneurs. Au Cirad-Cp, le logiciel Opep (Baradat et Labbé, 1995) est maintenant couramment utilisé. Il couvre les domaines suivants : gestion de fichiers, génération et gestion de dispositifs, génétique quantitative et génétique des populations. La partie génétique quantitative permet d'estimer facilement les paramètres génétiques classiques (héritabilité, corrélations génétiques...), mais aussi d'appliquer des index de sélection, de prévoir les gains génétiques en fonction du taux de sélection appliqué. Opep permet aussi d'intégrer des caractères prédictifs pour affiner l'estimation de tel ou tel caractère cible et d'évaluer la qualité de la sélection précoce.

Apport de la biologie moléculaire

Depuis quelques années, des avancées en biologie moléculaire ont été réalisées sur *C. canephora*. L'analyse de la diversité par RFLP² semble confirmer les analyses d'isozymes (Dussert, comm. pers.). L'utilisation

des haploïdes doublés a permis de dresser une première carte génétique de *C. canephora* (Paillard *et al.*, 1996) et de situer sur cette carte la région responsable de l'auto-incompatibilité de *C. canephora* (Lashermes *et al.*, 1996). Ces études fondamentales pourront, éventuellement, augmenter l'efficacité des programmes d'amélioration par la sélection assistée par marqueur, en particulier pour l'introgession de gènes intéressants d'espèces proches de *C. canephora* dans le génome de celle-ci.

La transformation génétique

Les premiers travaux entrepris chez Nestlé (Spiral *et al.*, 1993 ; Spiral et Pétiard, 1993) ont permis de régénérer des plantules transformées par la bactérie *Agrobacterium rhizogenes* pour les trois espèces cultivées : *C. canephora*, *C. arabica* et l'hybride interspécifique Arabusta. La plupart de ces plantes présentaient un phénotype « hairy root » (entre-noeuds courts, feuilles gaufrées), caractéristique des plantes transformées avec cette bactérie, interdisant une utilisation agronomique. Des travaux plus récents n'ont cependant pas permis de régénérer des plantes (Sugiyama *et al.*, 1995). Récemment repris dans le cadre d'une collaboration Cirad-Nestlé, les travaux en cours ont permis la régénération de plantules de *C. canephora* transformées via *A. rhizogenes* et *A. tumefaciens* avec un gène d'intérêt agronomique pour la résistance à la mineuse des feuilles (Leroy *et al.*, 1997). La réussite de la transformation par *A. tumefaciens*, qui permet de régénérer des plantes agronomiquement utilisables, laisse entrevoir des possibilités intéressantes pour l'introduction dans les caféiers cultivés d'autres gènes d'intérêt agronomique ou technologique.

Conclusions

Un pays qui voudrait, aujourd'hui, débiter ou reprendre l'amélioration variétale de *C. canephora* ne pourrait pas ignorer les avancées réalisées ailleurs dans le monde. C'est pourquoi l'échange d'informations est devenu primordial. De tels échanges sont favorisés par des réseaux de recherche comme le Réseau de recherche caféière en Afrique (Reca) et des centres de coopération internationale en recherche agronomique comme le Cirad. Pour autant, les pays qui ont maintenu un effort constant en matière d'amélioration ne peuvent, sans

contrepartie significative, disséminer leurs résultats, y compris sous forme de variétés améliorées.

Des réorientations majeures pour l'amélioration végétale de *C. canephora* pourraient intervenir dans les décennies à venir. La qualité à la tasse pourrait être sensiblement améliorée. Les progrès génétiques obtenus récemment permettront probablement de revenir à la distribution d'hybrides contrôlés aussi performants que les meilleurs clones. Il est possible que la distribution rapide de nouveaux clones sera réalisée par l'embryogenèse somatique. L'amélioration de la production passera par l'augmentation de l'indice de récolte de *C. canephora*. Déjà, des variétés naines sont mentionnées dans la littérature. Une telle orientation ne pourra se faire que parallèlement à une adaptation des techniques culturales, en particulier au niveau de la densité.

La mécanisation de la récolte paraît assez lointaine ; toutefois, l'amélioration du groupement de la maturité pour une meilleure qualité du produit et la sélection de variétés naines serviront, éventuellement, à une telle mécanisation.

Débiter ou reprendre l'amélioration variétale de *C. canephora* nécessite des choix importants : diffusion à terme de clones ou d'hybrides, sélection adaptative ou créatrice, hiérarchisation des critères de sélection, outils à mettre en œuvre, dispositif des essais de sélection... Cet article donne des éléments théoriques de réflexion qui procurent une aide pour de telles décisions. Il est bien évident que chaque pays possède des spécificités propres qui entrent en ligne de compte dans les stratégies d'amélioration à mettre en œuvre. Une synthèse de l'expérience accumulée et des résultats acquis dans différents pays en matière d'amélioration de *C. canephora* sera proposée dans la deuxième partie de cet article à paraître dans le prochain numéro de *Plantations, recherche, développement*. ■

(2). Polymorphisme de longueur de fragments de restriction.

Bibliographie / References

- BARADAT P., LABBÉ T., 1995. OPEP : un logiciel intégré pour l'amélioration des plantes pérennes. *In* : Traitements statistiques des essais de sélection. Séminaire de biométrie et génétique quantitative, Montpellier, France, 12-14 septembre 1994. Montpellier, France, CIRAD, p. 303-330.
- BERTHAUD J., 1980. L'incompatibilité chez *Coffea canephora* : méthode de test et déterminisme génétique. *Café Cacao Thé* 24 (4) : 267-274.
- BERTHAUD J., 1986. Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Evaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. Thèse de doctorat, Paris, France, ORSTOM. Travaux et Documents, 188, 379 p.
- BERTHOULY M., ALVARD D., CARASCO C., DURIS D., 1995. A technology transfer operation: a commercial *Coffea canephora* micropropagation laboratory in Uganda. *In* : XVI^e Colloque scientifique international sur le café, Kyoto, Japon, 9-14 avril 1995. Paris, France, ASIC, 2, 743-744.
- BERTHOULY M., MICHAUX-FERRIERE N., 1996. High frequency somatic embryogenesis in *Coffea canephora*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 44 (2) : 169-176.
- BOUHARMONT P., AWEMO J., 1979. La sélection végétative du caféier Robusta au Cameroun. 1^{ère} partie : programme de sélection. *Café Cacao Thé* 23 (4) : 227-254.
- BOUHARMONT P., LOTODÉ R., AWEMO J., CASTAING X., 1986. La sélection générative du caféier Robusta au Cameroun. Analyse des résultats d'un essai d'hybrides dialèle partiel implanté en 1973. *Café Cacao Thé* 30 (2) : 93-112.
- CAPOT J., 1964. La pollinisation artificielle des caféiers allogames et son rôle dans leur amélioration. *Café Cacao Thé* 8 (2) : 75-88.
- CAPOT J., 1966. La production de boutures de clones sélectionnés de caféiers Canephora. *Café Cacao Thé* 10 (3) : 219-227.
- CAPOT J., 1977. L'amélioration du caféier Robusta en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 21 (4) : 233-244.
- CHARMETANT P., 1988. Le bouturage direct du caféier Robusta. Compte rendu d'essai. *In* : XII^e Colloque scientifique international sur le café, Montreux, Suisse, 29 juin-3 juillet 1987. Paris, France, ASIC, p. 545-549.
- CHARMETANT P., KIARA J. M., KUKHANG T. D., 1993. Amélioration génétique des caféiers en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Historique, stratégie. *In* : XV^e Colloque scientifique international sur le café, Montpellier, France, 6-11 juin 1993. Paris, France, ASIC, 1, p. 262-270.
- CHARMETANT P., LEROY T., 1986. Etude de l'influence de différents facteurs agronomiques et génétiques sur la granulométrie du caféier Robusta. *In* : XI^e Colloque scientifique international sur le café, Lomé, Togo, 11-15 février 1985. Paris, France, ASIC, p. 489-494.
- CHARMETANT P., LEROY T., 1990. Méthodologie de la sélection caféière en Côte d'Ivoire. *In* : XIII^e Colloque scientifique international sur le café, Paipa, Colombie, 21-25 août 1989. Paris, France, ASIC, p. 496-501.
- CHARRIER A., BERTHAUD J., 1988. Principles and methods in coffee plant breeding : *Coffea canephora* Pierre. *In* : *Coffee*, Vol. 4 : Agronomy, R.J. Clarke et R. Macrae éd., Londres, Royaume-Uni, Elsevier Applied Science, p. 167-197.
- CORDIER L., 1961. Les objectifs de la sélection caféière en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 5 (3) : 147-159.
- COUTURON E., 1980. Le maintien de la viabilité des graines de caféiers par le contrôle de leur teneur en eau et de leur température de stockage. *Café Cacao Thé* 24 (1) : 27-32.
- COUTURON E., 1986. Le tri précède des haploïdes d'origine spontanée de *Coffea canephora* Pierre. *Café Cacao Thé* 30 (3) : 171-176.
- HOLGUIN F., BIEYSSE D., ESKES A. B., MULLER R.A., 1993. Etude de la virulence et de l'agressivité d'isolats de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. collectés sur *Coffea canephora* et Catimor. *In* : XV^e Colloque scientifique international sur le café, Montpellier, France, 6-11 juin 1993. Paris, France, ASIC, 1, p. 281-292.
- KIBIRIGE-SSEBUNYA I., NABASIRYE M., MATOVU J., MUSOLI P., 1993. A comparison among various Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre) clonal materials and their seedling progenies at different levels of nitrogen. *Uganda J. Agric. Res.* 1 (1) : 5-12.
- LASHERMES P., COUTURON E., MOREAU N., PAILLARD M., LOUARN J., 1996. Inheritance and genetic mapping of self-incompatibility in *Coffea canephora* Pierre. *Theor. Appl. Genet.* 93 (3) : 458-462.
- LE PIERRES D., 1988. Influence des facteurs génétiques sur le contrôle de la teneur en caféine du café. *In* : XII^e Colloque scientifique international sur le café, Montreux, Suisse, 29 juin-3 juillet 1987. Paris, France, ASIC, p. 468-475.
- LEROY T., 1993. Diversité, paramètres génétiques et amélioration par sélection récurrente réciproque du caféier *Coffea canephora* P. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes, 147 p.
- LEROY T., MONTAGNON C., CHARRIER A., ESKES A.B., 1993. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. I. Characterization and evaluation of breeding populations and value of intergroup hybrids. *Euphytica* 67 : 113-125.
- LEROY T., MONTAGNON C., CILAS C., CHARRIER A., ESKES A. B., 1994. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. II. Estimation of genetic parameters. *Euphytica* 74 : 121-128.
- LEROY T., PAILLARD M., ROYER M., SPIRAL J., BERTHOULY M., LEGAVRE T., 1997. Introduction de gènes d'intérêt agronomique dans l'espèce *Coffea canephora* Pierre par transformation avec *Agrobacterium* sp. *In* : XVI^e Colloque scientifique international sur le café, Nairobi, Kenya, 20-25 juillet 1997 (sous presse).
- LOSCH B., PETITHUGUENIN P., BULTEAU P., PASQUIS R., 1992. Etude de faisabilité pour un projet d'intégration entre producteurs et autres opérateurs de la filière café en Côte d'Ivoire. Montpellier, France, document Cirad-Sar 12/93, 3 vol., 368 p.
- MONTAGNON C., LEROY T., 1993. Réaction à la sécheresse de jeunes caféiers *Coffea canephora* de Côte d'Ivoire appartenant à différents groupes génétiques. *Café Cacao Thé* 37 (3) : 179-190.
- MONTAGNON C., LEROY T., CILAS C., ESKES A.B., 1993a. Differences among clones of *Coffea canephora* in resistance to the scolytid coffee-twig borer. *Intern. J. Pest Manag.* 39 (2) : 204-209.
- MONTAGNON C., LEROY T., KÉBÉ I., ESKES A.B., 1994. Importance de la rouille orangée et facteurs impliqués dans l'évaluation de la résistance au champ de *Coffea canephora* en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 38 (2) : 103-112.
- MONTAGNON C., LEROY T., YAPO A.B., 1992. Etude complémentaire de la diversité génotypique et phénotypique des caféiers de l'espèce *Coffea canephora* en collection en Côte d'Ivoire. *In* : XIV^e Colloque scientifique international sur le café, San Francisco, Etats-Unis, 14-19 juillet 1991. Paris, France, ASIC, p. 444-450.
- MONTAGNON C., LEROY T., YAPO A.B., 1993b. Caractérisation et évaluation de caféiers *Coffea canephora* prospectés dans des plantations de Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 37 (2) : p. 115-119.
- MOSCHETTO D., MONTAGNON C., GUYOT B., PERRIOT J.J., LEROY T., ESKES A.B., 1996. Studies on the effect of genotype on cup quality of *Coffea canephora*. *Trop. Sci.* 36 : 18-31.
- PAILLARD M., LASHERMES P., PÉTIARD V., 1996. Construction of a molecular linkage map in coffee. *Theor. Appl. Genet.* 93 (1-2) : 41-47.
- PORTERES R., 1959. Valeur agronomique des caféiers des types Kouilou et Robusta cultivés en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 3 (1) : 3-13.
- RAVOHITRARIO C.P., 1980. Etude de la variabilité des descendances et des problèmes liés à l'amélioration des caféiers cultivés diploïdes.

- Thèse de doctorat de 3^e cycle, université de Madagascar, 105 p.
- RÉMOND F., CILAS C., DUFOUR B., BERNADETTE L., DECAZY B., 1995. Comparaisons de méthodes d'échantillonnage du scolyte du fruit du caféier (*Hypothenemus hampei* Ferr.). In : XVI^e Colloque scientifique international sur le café, Kyoto, Japon, 9-14 avril 1995. Paris, France, ASIC, 2, p. 645-654.
- SPIRAL J., PÉTIARD V., 1993. Développement d'une méthode de transformation appliquée à différentes espèces de caféier et régénération de plantules transgéniques. In : XV^e Colloque scientifique international sur le café, Montpellier, France, 6-11 juin 1993. Paris, France, ASIC, 1, p. 115-122.
- SPIRAL J., THIERRY C., PAILLARD M., PÉTIARD V., 1993. Obtention de plantules de *Coffea canephora* Pierre (Robusta) transformées par *Agrobacterium rhizogenes*. Comptes rendus de l'académie de sciences Paris, série III, t. 316 : 1-6.
- SUGIYAMA M., MATSUOKA C., TAKAGI, 1995. Transformation of coffee with *Agrobacterium rhizogenes*. In : XVI^e Colloque scientifique international sur le café, Kyoto, Japon, 9-14 avril 1995. Paris, France, ASIC, 2, p. 853-859.
- VIROUX R., PETITHUGUENIN P., 1993. L'écimage du caféier Robusta. Un mode de conduite économiquement avantageux. Café Cacao Thé 37 (1) : 21-34.
- YASUDA T., FUJI Y., YAMAGUCHI T., 1985. Embryogenic callus induction from *Coffea arabica* leaf explants by benzyladenine. Plant Cell Physiol. 26 : 595-597.
- ZAMARRIPA A., DUCOS J.P., TESSERAU H., BOLLON H., ESKES A., PÉTIARD V., 1991. Développement d'un procédé de multiplication du caféier par embryogenèse somatique en milieu liquide. In : XIV^e Colloque scientifique international sur le café, San Francisco, Etats-Unis, 14-19 juillet 1991. Paris, France, ASIC, p. 392-402.

Cette seconde partie de l'Amélioration variétale de *Coffea canephora* passe en revue les méthodes et les résultats des centres de sélection d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. Un développement particulier est donné au programme de sélection récurrente réciproque de la Côte d'Ivoire.

Amélioration variétale de *Coffea canephora*

II. Les programmes de sélection et leurs résultats

Montagnon C.¹, Leroy T.², Eskes A.B.³

¹ CIRAD-CP, Institut des Forêts/Département Café Cacao (IDEFOR/DCC), 01 BP 1827, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

² CIRAD-CP, Centre de recherche Nestlé, 101 avenue Gustave Eiffel, BP 9716, 37097 Tours Cedex 2, France

³ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Dans une première partie (Montagnon *et al.*, 1998), les aspects théoriques des programmes classiques d'amélioration de *Coffea canephora* et les nouveaux outils de l'amélioration variétale ont été exposés.

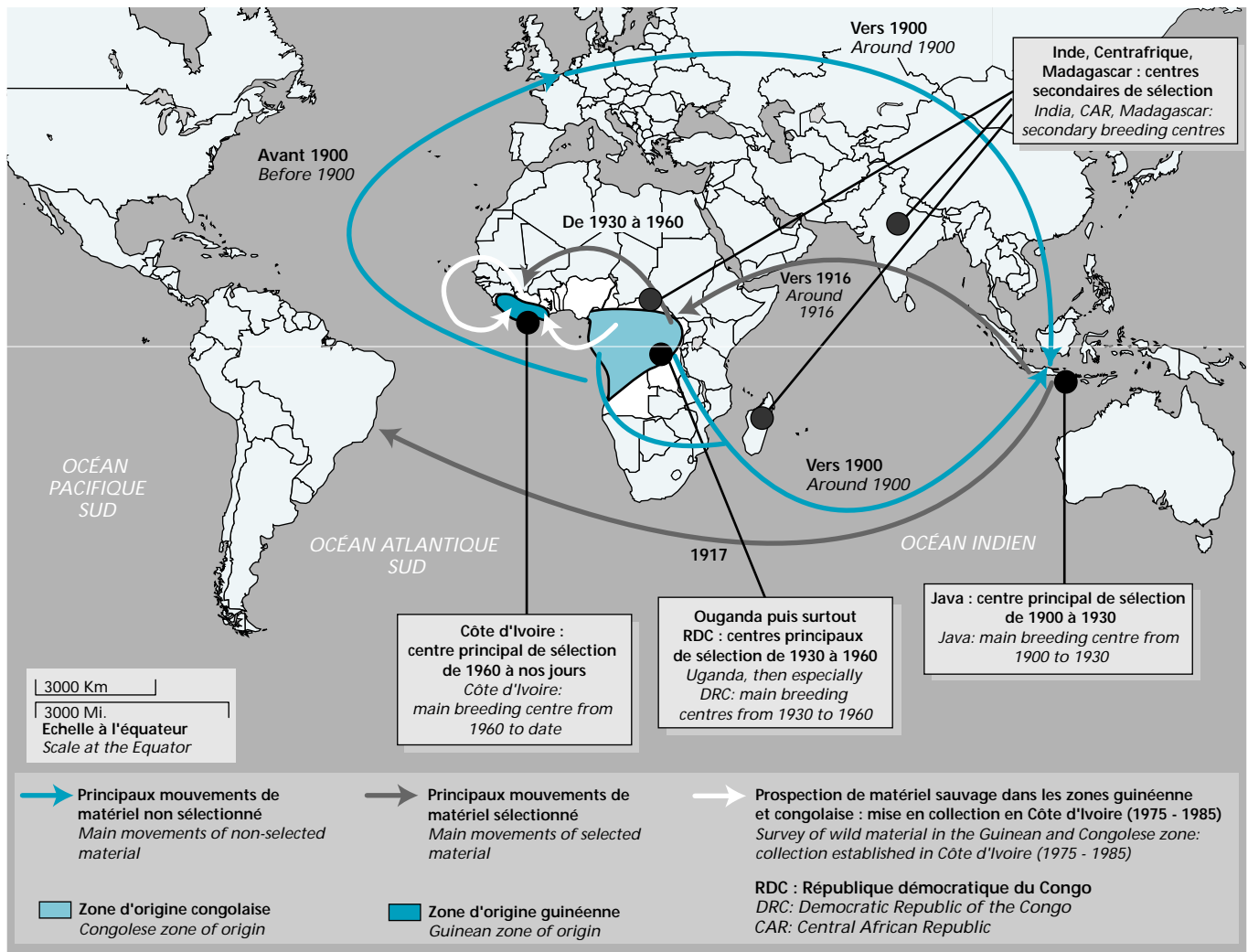
Dans cette seconde partie, les auteurs passent en revue les programmes de sélection, anciens ou récents, des différents pays s'intéressant à *Coffea canephora*.

Historique de la sélection à travers le monde

Les grands centres de la sélection de *C. canephora* se sont déplacés dans le temps (carte).

Asie

Les premiers travaux de sélection de *C. canephora* ont commencé à Java au début du siècle (Cramer, 1957). Le matériel de base provenait essentiellement du Zaïre («Robusta»), d'Ouganda («Ugandae») et du Gabon («Canephora»). Des variétés «Quillou» avaient aussi été envoyées d'Europe, sans informations précises sur leur origine africaine. La sélection a essentiellement été réalisée à partir du Robusta, même si beaucoup d'intercroisements, entre les différents types, ont eu lieu. Après quelques cycles de sélection massale, des arbres-mères ont été identifiés pour la distribution de semences, puis une quinzaine de clones ont été sélection-



Principaux centres de sélection et mouvements du matériel végétal de *Coffea canephora*. / Main breeding centres and movements of *Coffea canephora* planting material.

nés à partir des années 20 (séries SA, BP...).

De rares introductions de *C. canephora* ont été réalisées en Inde, entre 1950 et 1970 (Ram *et al.*, 1994). Après une étape de sélection massale, des clones connus, comme «Robusta Balehonnur» ou «BR», ont été identifiés et proposés aux planteurs. Des études se poursuivent pour évaluer les aptitudes générales à la combinaison (AGC) et aptitudes spécifiques à la combinaison (ASC) de ces clones BR. Il faut signaler également la stabilisation d'hybrides Congusta qui rencontrent un certain succès auprès des planteurs. Des chercheurs indiens ont récemment mentionné l'occurrence de variétés naines de *C. canephora* (Kumar *et al.*, 1994).

En Malaisie, les travaux de sélection n'ont réellement commencé qu'en 1980, à partir de quelques introductions datant du début du siècle, vraisemblablement en provenance de Java (Muhamad Ghawas, 1994).

Depuis, trois clones ont été sélectionnés, parmi lesquels le clone BP 409, dont l'appellation atteste l'origine indonésienne.

Des sélections de Java ont été introduites en Papouasie-Nouvelle-Guinée entre 1935 et 1953 (Charmetant, 1994). Plusieurs champs semenciers polyclonaux ont été mis en place et ce fut le seul matériel disponible jusqu'en 1987. Des semences sélectionnées de Côte d'Ivoire ont alors été introduites. A partir de celles-ci, 18 clones (PNS 1 à 18) ont été sélectionnés. Récemment, des clones sélectionnés de Côte d'Ivoire ont été introduits ; les essais d'adaptation sont en cours.

Afrique

Au Congo belge (ex-Zaïre puis République démocratique du Congo), l'Institut national pour l'étude agronomique du Congo belge (Ineac) a, très tôt, entamé des programmes de sélection de *C. canephora* (Capot, 1962). La distribution se faisait essentiellement

sous forme de semences. Le matériel de base était constitué de semences sélectionnées à Java et de populations sylvestres locales. De 1933 à 1956, la sélection a permis d'améliorer les performances des semences, jusqu'à l'identification de sept arbres-mères qui formèrent un champ semencier polyclonal. Aujourd'hui, la sélection est basée sur des croisements entre « Robusta » (cultivé dans la cuvette centrale du pays) et « Petit Kwilu » (cultivé dans le bas-Zaïre). Le but est d'obtenir des variétés résistantes à la sécheresse (« Petit Kwilu ») et à forte granulométrie (« Robusta »).

Dans les années 60, l'IFCC¹ a lancé un programme de sélection de *C. canephora* conjointement à Madagascar, en République centrafricaine et en Côte d'Ivoire

IFCC = Institut français du café et du cacao faisant partie, aujourd'hui, du département des cultures pérennes du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad-cp).

(Braudeau *et al.*, 1963). Cette initiative, originale et ambitieuse, homogénéisait les méthodes de sélection selon un programme bien défini. Celui-ci comprenait une partie « sélection végétative » visant à l'identification de clones d'élite, et une partie « sélection générative » visant à l'identification d'hybrides de clones distribués sous forme de semences. Dans les trois pays, la voie végétative a atteint ses objectifs. Seule la Côte d'Ivoire a pu, aussi, mener à bien la sélection générative.

A Madagascar (Braudeau *et al.*, 1963 ; Ravohitrarivo, 1980), le matériel disponible pour la sélection était constitué de semences introduites de Java avant les années 30 (série BE), d'hybrides interspécifiques entre *C. canephora* et *C. congensis* dits « de Tonnier » (séries HA ou HB) et de « Robustoides et Kouillou d'origines diverses et incertaines ». Par ailleurs, des prospections ont été réalisées dans la zone à *C. canephora* de la côte Sud (série K). En 1962, 18 clones étaient de sérieux candidats à la vulgarisation dont : 2 clones des séries HA et HB, 2 clones de la série BE et 14 clones de la série K. A la fin des années 70, 6 hybrides étaient prêts pour la vulgarisation.

En République centrafricaine (Dublin, 1967), le matériel disponible pour la sélection provenait presque uniquement de semences du Zaïre (Robusta). D'autres origines existaient en collection mais, moins performantes que le Robusta, elles ne furent pas utilisées dans le processus de sélection. En 1967, une trentaine de clones d'élite étaient identifiés comme candidats à la vulgarisation.

Le matériel disponible en Côte d'Ivoire (Capot, 1977) regroupait des prospections dans les plantations de Côte d'Ivoire et des introductions de l'étranger (Zaïre, Madagascar, Centrafrique, Cameroun, Ouganda...). Dans ce pays, la sélection clonale aboutit à l'identification de sept clones dans les années 70, provenant presque tous de prospections dans les plantations de Côte d'Ivoire. De plus, la sélection dite « générative » a été largement suivie et une douzaine d'hybrides supérieurs ont été identifiés. Ces derniers produisent, cependant, environ 35 % moins que les variétés clonales et ne sont distribués qu'en cas de manque de boutures.

Le Cameroun a pu bénéficier des travaux effectués dans d'autres pays en introduisant des sélections de Java, du Zaïre, de Côte d'Ivoire, de Madagascar et de République centrafricaine (Bouharmont et Awemo, 1979). Approximativement en 1975, 12 clones

ont été sélectionnés dont 5 proviennent de République centrafricaine, 3 de Java, 2 de Côte d'Ivoire, 1 de Madagascar et 1 du Zaïre. Le Cameroun a poursuivi quelques temps un programme de sélection d'hybrides de clones avec la création d'essais dialèles, dans lesquels les hybrides atteignent 75 % de la productivité des meilleurs clones (Bouharmont *et al.*, 1986).

En Ouganda (Kibirige-Ssebunya *et al.*, 1993 ; Millot, 1969), l'amélioration de *C. canephora* a commencé dès 1916. Le matériel de départ était constitué de graines sélectionnées provenant de Java, de clones de diverses origines (Hollande, Portugal, Madagascar) et de semences récoltées dans les populations sauvages locales. Traditionnellement, deux types de caféiers sont identifiés en Ouganda : le type Erect et le type Bending (dont la tige se courbe facilement). La sélection a permis d'identifier des arbres-mères mis en champs semenciers polyclonaux (Erecta 35) dans les années 50, puis 8 clones vulgarisés à partir des années 70, dont 3 sont du type Erect et 5 du type Bending « Nganda ».

La Guinée bénéficie de quelques anciennes introductions du Zaïre (Montagnon, 1994). Toutefois, la sélection adaptative se fait, depuis près de dix ans, à partir de matériel sélectionné en Côte d'Ivoire. Quelques origines locales sont réputées comme « Gamé » ou « Kissi ».

La variété traditionnelle du Togo (Agbodjan et Bertrand, 1988) est le Niaouli originaire du Bénin. En 1967, 143 clones ont été introduits au Togo en provenance essentiellement de Côte d'Ivoire. A la fin des années 80, d'autres clones ont été réintroduits, toujours de Côte d'Ivoire. Il en est résulté la sélection de sept à huit clones, dont la plupart sont vulgarisés en Côte d'Ivoire.

A la fin des années 80, l'Angola (Charmant, 1986) disposait des clones et des hybrides sélectionnés en Côte d'Ivoire et d'anciennes collections de caféiers locaux et d'introductions du Zaïre. Les variétés cultivées traditionnellement en Angola sont appelées « Amboim », vraisemblablement importées du Zaïre, et « Ambriz » qui serait le résultat de croisements entre des variétés introduites du Zaïre et des caféiers sylvestres locaux.

Les seuls caféiers *C. canephora* cultivés au Burundi (Capot, 1979) sont des descendants de graines sélectionnées au Zaïre.

La Tanzanie a bénéficié de quelques introductions d'Ouganda. Aujourd'hui, il semble que le matériel disponible pour la sélection soit constitué du type Erect (une douzaine de génotypes en provenance

d'Ouganda), du type Bending représenté par les Nganda d'Ouganda (4 génotypes) et des caféiers locaux d'origine inconnue du type Erect et Bending (56 génotypes). De la collection de 72 génotypes, 6 clones ont été identifiés en 1995 pour la vulgarisation.

Amérique

Après l'introduction de plusieurs types de *C. canephora*, c'est la variété Conilon (déformation de Kouillou) qui est restée populaire au Brésil (Bragança *et al.*, 1993). Toutefois, seule une sélection massale avait été réalisée jusqu'aux années 80. Depuis, trois variétés clonales, constituées de mélanges, ont été sélectionnées : l'une est hâtive, l'autre tardive, la troisième intermédiaire.

Conclusion

Au cours du temps, les pôles de la sélection de *C. canephora* se sont déplacés : d'abord l'Indonésie au début du siècle, puis l'actuelle République démocratique du Congo (RDC) (ex-Congo belge) et l'Ouganda jusqu'aux années 60, ensuite l'ensemble Madagascar, République centrafricaine, Côte d'Ivoire dans les années 60-70. Seuls ces pays ont procédé à une sélection créatrice. Seule la Côte d'Ivoire a significativement progressé dans la voie des hybrides de clones. Les programmes de ces pays se sont successivement nourris les uns des autres. Les variétés sélectionnées à travers ces quelques programmes ont été l'unique source de la sélection adaptative de la majorité des pays producteurs. Ainsi, de nombreux pays ne disposent que d'une très faible base génétique pour la sélection de *C. canephora*.

Les progrès obtenus en matière de production sont rarement mentionnés précisément. En Indonésie, la sélection aurait permis un progrès de 50 % (Cramer, 1957). En RDC, le rendement serait passé de 250 à 1 000 kg de café marchand par hectare en un peu plus de 25 ans (Capot, 1962). En Côte d'Ivoire, en 1977, le gain de production dû à la sélection est d'environ 110 % pour les clones, 60 % pour les semenceaux issus de combinaisons hybrides et 30 % pour les semenceaux issus de fécondation libre d'arbres-mères à forte AGC (Capot, 1977). En moyenne, on peut estimer que la taille des grains a été augmentée de 50 %.

Les deux sous-groupes Congolais ont été largement exploités par les différents programmes de sélection. Le sous-groupe 2 est représenté essentiellement par les caféiers décrits comme « Robusta » ou « Ugandae ». Les caféiers « Quillou » ou « Kouillou » cor-

respondent vraisemblablement au sous-groupe 1 Congolais. Pour ces derniers, il pourrait y avoir confusion avec le groupe Guinéen s'ils provenaient de Guinée ou de Côte d'Ivoire ; ce cas n'est mentionné qu'une fois en Ouganda (Millot, 1969) où un unique « Quillou de Côte d'Ivoire » a été introduit. En RDC, à travers « Robusta » et « Petit Kwilu », ce sont manifestement des croisements entre les deux sous-groupes Congolais qui sont exploités. Au Brésil, le café « Conilon » est vraisemblablement, lui aussi, composé d'intercroisements entre des caféiers des sous-groupes 1 et 2 Congolais. En effet, une ségrégation de formes est observée au niveau des semenceaux (observation personnelle). De plus, une origine exclusivement du sous-groupe 1 (« Kouillou »), très tardif, n'aurait certainement pas permis une sélection aussi facile de clones précoces à tardifs dans ce pays. Les caféiers du groupe Guinéen sont donc les grands absents de l'histoire de la sélection de *C. canephora*.

Utilisation du groupe Guinéen en Côte d'Ivoire

Par le jeu des échanges internationaux de variétés cultivées lors de la première moitié du siècle, la Côte d'Ivoire a, comme la plupart des pays producteurs, introduit un ensemble de variétés représentatif des origines d'Afrique centrale et de la zone allant du Bénin au Gabon (Berthaud, 1986a). En revanche, la Côte d'Ivoire est l'un des seuls pays, avec la Guinée, à posséder les variétés ou populations locales du type Guinéen. En effet, celles-ci ne se rencontrent que dans la région Côte d'Ivoire-Guinée à l'état sauvage et n'ont pas été introduites dans d'autres pays. Ainsi, depuis le début de la culture de *C. canephora*, des échanges génétiques entre le groupe Guinéen et le groupe Congolais ont pu se faire naturellement dans les plantations villageoises ou semi-industrielles de Côte d'Ivoire. Cette rencontre a été confirmée et quantifiée par des études électrophorétiques (Montagnon *et al.*, 1993).

Au début des années 80, il a été constaté que les arbres les plus productifs retenus dans les années 60 comme têtes de clones étaient, pour la plupart, des hybrides intergroupes naturels prospectés dans les plantations ivoiriennes. L'hypothèse fut donc émise d'une hétérosis de groupe (ou vigueur hybride) entre le groupe Guinéen et le groupe Congolais. Cette hypothèse a

naturellement conduit à proposer l'application d'un schéma d'amélioration basé sur l'exploitation d'une telle hétérosis de groupe : la sélection récurrente et réciproque (Berthaud, 1986b).

La sélection récurrente et réciproque (SRR)

L'hétérosis de groupe a d'abord été vérifiée à grande échelle (Leroy *et al.*, 1993). Le schéma finalement adopté (Leroy, 1993) est le suivant (figure) :

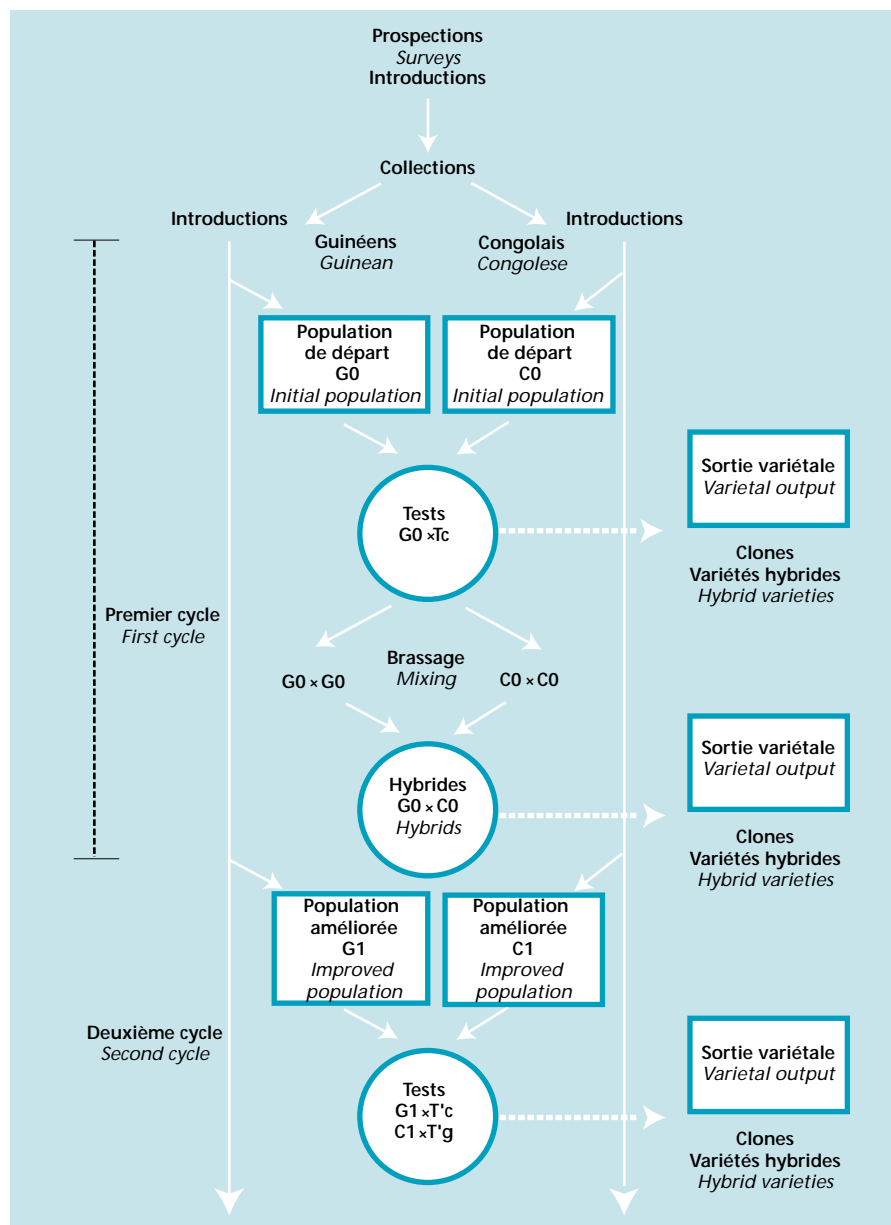
- deux populations de base (ou de départ) sont constituées : une population Guinéenne (G0) et une population Congolaise (C0). Il y a environ 100 individus (= parents) dans chaque population ;
- dans chaque population G0 et C0, deux individus sont identifiés comme testeurs ;
- tous les parents qui constituent la population de base Guinéenne sont croisés avec les deux testeurs Congolais. Réciproquement, tous les parents qui constituent la population de base Congolaise sont croisés avec les deux testeurs Guinéens ;

- on obtient ainsi 400 croisements : 100 parents G0 x 2 testeurs Congolais + 100 parents C0 x 2 testeurs Guinéens ;
- des essais de descendance permettent d'identifier les meilleurs croisements. Les 100 parents G0 de la population de base Guinéenne peuvent donc être classés dans l'ordre croissant des performances de leur descendance. Ce classement donne une idée directe de la valeur du parent, puisque les testeurs Congolais sont les mêmes pour tous les parents G0. Réciproquement, le même classement est fait pour les 100 parents de la population C0 ;
- les 10 meilleurs parents des deux populations de base sont identifiés grâce au classement précédent ;
- la phase de test intergroupe est terminée. On croise entre eux (intragroupe) les 10 meilleurs parents de chacun des deux groupes. Cela représente 55 croisements par groupe, qui permettent la création d'environ 2 000 plants par groupe. Ces nouveaux plants sont évalués en essai. Les 100 meilleurs sont choisis dans



Caféier
C. canephora.
C. canephora tree.

A.B. Eskes



Représentation schématique du programme de sélection réciproque et récurrente appliqué à *Coffea canephora* en Côte d'Ivoire. | Diagram of the reciprocal recurrent selection scheme applied to *Coffea canephora* in Côte d'Ivoire. (Leroy, 1993).

chaque groupe pour constituer les populations de départ Guinéenne (G1) et Congolaise (C1) du deuxième cycle. On dit que les populations G1 et C1 sont améliorées car elles ont été obtenues à partir des meilleurs parents (sur la base du test intergroupe) des populations G0 et C0;

- on recommence un nouveau cycle sur le modèle du premier, et ainsi de suite.

La sélection est donc bien récurrente, puisqu'elle est constituée de cycles successifs continus et elle est réciproque car chaque groupe est amélioré par rapport à l'autre. Durant chaque cycle de SRR, des

sorties variétales sont possibles en repérant les meilleurs hybrides et/ou les meilleurs arbres têtes de clones dans les essais d'évaluation des descendance intergroupes. Toutefois, il est possible de multiplier les chances de sélectionner des variétés performantes en réalisant, à la fin de chaque test intergroupe, une nouvelle grille factorielle complète de croisements n'intégrant que les meilleurs géniteurs de chaque groupe.

Les résultats obtenus

Un cycle de sélection de *C. canephora* dure de 25 à 30 ans. Les premières sorties variétales effectuées grâce à la SRR ne sont donc

pas attendues avant l'an 2015. Toutefois, des résultats préliminaires sont disponibles.

Depuis 1985, près de 2 000 croisements contrôlés ont été réalisés, les tests intergroupes du premier cycle de sélection sont tous plantés, et déjà évalués pour une bonne part. Près de 200 clones très hauts producteurs ont déjà été repérés et sont en cours de comparaison dans des essais clonaux. Le gain génétique apporté par ces clones est estimé à près de 30 % par rapport au meilleur clone commercial actuellement vulgarisé (Leroy *et al.*, 1997). Une dizaine de descendance hybrides intergroupes se sont déjà montrées supérieures à ce meilleur clone commercial en produisant jusqu'à 40 % en plus de celui-ci (Leroy *et al.*, 1997).

Ainsi, si l'on compare ces descendance hybrides intergroupes, issues de la sélection récurrente et réciproque, aux meilleurs hybrides des années 70 (Capot, 1977), on constate un doublement du potentiel de production.

Ces résultats extrêmement importants pourraient laisser entrevoir la distribution de variétés aussi performantes que les clones sous forme de semences. Le nombre élevé de descendance et de clones sélectionnés pour la productivité donne une grande possibilité de sélection pour d'autres cibles. En particulier, l'augmentation de la granulométrie devrait être accélérée. Par ailleurs, des variétés possédant une architecture buissonnante et ramifiée entraînant l'amélioration de l'indice de récolte sont en cours d'étude.

Depuis le début des années 90, une attention toute particulière est donnée à la qualité du café produit avec des résultats encourageants (Moschetto *et al.*, 1996).

Conclusion

D'abord située en Indonésie au début du siècle, la sélection s'est ensuite déplacée en Afrique centrale, en Ouganda et, surtout, dans l'actuelle République démocratique du Congo au milieu du siècle. Dans les années 60 et 70, on la retrouve centrée en Afrique occidentale et à Madagascar. Finalement, seule la Côte d'Ivoire conduit un grand programme de sélection.

Il n'y a donc jamais eu d'efforts soutenus pendant une période de plus de 30 ans pour l'amélioration de cette espèce. Ce pas de temps correspond à un, ou au maximum deux cycles de sélection. Ceci indique que la plupart des variétés vulgarisées aujourd'hui sont encore proches des

caféiers sauvages. La marge de progrès génétique est donc encore forte, comme le montrent les résultats obtenus en Côte d'Ivoire.

Plusieurs spécificités de l'histoire de *C. canephora* expliquent l'absence de programmes réellement soutenus dans le temps :

- absence de contraintes phytopathologiques majeures : en effet, la recherche de la résistance ou de la tolérance à des maladies à forte incidence économique est l'un des moteurs majeurs de l'amélioration variétale. Ainsi, chez *C. arabica*, la rouille orangée et le *Coffee Berry Disease* (CBD) stimulent l'amélioration variétale. Pour le cacaoyer, on peut mentionner la pourriture brune des cabosses ;
- la robustaculture est essentiellement le fait de petits planteurs, rarement organisés. Ils n'ont jamais exercé une pression sur les instituts de recherche pour l'amélioration variétale ;
- l'augmentation de la production de *C. canephora* provient surtout de l'aug-

mentation des surfaces de culture (fronts pionniers). Les sols très riches permettant de fortes productions même avec des variétés peu sélectionnées ;

- jusqu'à une période récente, la circulation des variétés sélectionnées d'un pays à l'autre ne posait pas de problèmes ;
- on pourrait, également, mentionner l'instabilité politique de certains pays.

Les données du problème ont changé aujourd'hui. L'exploitation des fronts pionniers fait partie du passé. Le potentiel des variétés est devenu un facteur déterminant de la production. De plus en plus, ça et là, apparaissent des groupements ou fédérations de planteurs qui, parfois, financent en partie la recherche et attendent des résultats, en particulier des variétés améliorées. La trachéomycose, qui a refait son apparition dernièrement en Ouganda et en République démocratique du Congo, pourrait stimuler l'amélioration variétale.

Les variétés de demain ont été décrites dans un précédent article (Montagnon *et al.*, 1998). Elles devront présenter un fort

potentiel de production d'un café de bonne qualité organoleptique, tout en réduisant les coûts de production en intrants et main-d'œuvre et en respectant l'environnement. Il est probable que le progrès le plus spectaculaire dans l'avenir sera la distribution de semences produisant autant ou plus que les clones distribués par boutures.

Enfin, de nouveaux outils sont ou seront bientôt disponibles pour aider à l'amélioration variétale de *C. canephora*. Il s'agit essentiellement des marqueurs moléculaires et de la transformation génétique. Toutefois, la sélection classique, facile à mettre en œuvre, est loin d'avoir épuisé ses possibilités d'amélioration et elle a encore de beaux jours devant elle, en particulier grâce à l'utilisation du groupe Guinéen. ■

Bibliographie / References

- AGBODJAN A.K., BERTRAND B., 1988. Principaux critères de sélection du *Canephora* au Togo. Résultats et perspectives. In : XII^e colloque scientifique international sur le café, Montreux, Suisse, 29 juin - 3 juillet 1987. Paris, France, ASIC, p. 483-492.
- BERTHAUD J., 1986a. Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Evaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. Paris, France, ORSTOM, coll. Travaux et documents 188, 379 p.
- BERTHAUD J., 1986b. Proposal for a new strategy for breeding coffee trees of the species *Coffea canephora*, based on the results of analyses of wild populations. In : XI^e colloque scientifique international sur le café, Lomé, Togo, 11-15 février 1985. Paris, France, ASIC, p. 445-452.
- BOUHARMONT P., AWEMO J., 1979. La sélection végétative du caféier Robusta au Cameroun. 1ère partie : programme de sélection. *Café Cacao Thé* 23 (4) : 227-254.
- BOUHARMONT P., LOTODÉ R., AWEMO J., CASTAING X., 1986. La sélection générative du caféier Robusta au Cameroun. Analyse des résultats d'un essai d'hybrides diallele partiel implanté en 1973. *Café Cacao Thé* 30 (2) : 93-112.
- BRAGANÇA S.M., CARVALHO C.H.S. DE, FONSECA A.F.A. DA, FERRAO R.G., SILVEIRA J.S.M., 1993. "Emcapa 8111", «Emcapa 8121», «Emcapa 8131» : primeiras variedades, clonais de café Conilon lançadas para o Espírito Santo. *Comun. Tec. EMCAPA* (68), 2 p.
- BRAUDEAU J., CAMBRONY H.R., CAPOT J., DUBLIN P., ETASSE C., FOURY C., 1963. Les principes de la sélection des caféiers canéphoroïdes et libério-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. Paris, France, Institut français du café et du cacao, *Bulletin IFCC* 5, 48 p.
- CAPOT J., 1962. Le caféier Robusta (*Coffea canephora*). In : Campagnes mondiales des semences FAO. Réalisations de l'INEAC au Congo et au Rwanda-Burundi. Bruxelles, Belgique, Comité National Belge de la FAO, p. 41-47.
- CAPOT J., 1977. L'amélioration du caféier Robusta en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 21 (4) : 233-244.
- CAPOT J., 1979. Rapport de mission sur la caféiculture au Burundi. Bingerville, Côte d'Ivoire, IFCC, 25 p. (document interne).
- CHARMETANT P., 1986. Mission d'appui pour l'amélioration génétique des caféiers Robusta cultivés en Angola, du 6 au 19 décembre 1986. Paris, France, Cirad-IRCC, 18 p. (document interne).
- CHARMETANT P., 1994. Lowlands coffee in Papua New Guinea research programmes. *Coffee Res. Inst. Newsl.* (1) : 11-13.
- CRAMER P.J.S., 1957. A review of literature of coffee research in Indonesia from about 1602 to 1945. Turrialba, Costa-Rica, Interamerican Institute of Agricultural Sciences, 262 p.
- DUBLIN P., 1967. L'amélioration du caféier Robusta en République centrafricaine. Dix années de sélection clonale. *Café Cacao Thé* 11 (2) : 101-138.
- KIBIRIGE-SSEBUNYA I., NABASIRYE M., MATOVU J., MUSOLI P., 1993. A comparison among various Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre) clonal materials and their seedling progenies at different levels of nitrogen. *Uganda J. Agric. Res.* 1 (1) : 5-12.
- KUMAR A., SRINIVASAN C. S., NATARAJ T., 1994. A preliminary note on the occurrence of dwarf mutants in Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre Ex. Frohener). *J. Coffee Res.* 24 (1) : 41-45.
- LEROY T., 1993. Diversité, paramètres génétiques et amélioration par sélection réciproque du caféier *Coffea canephora* P. Thèse de doctorat, Ecole nationale

- supérieure agronomique de Rennes, France, 147 p.
- LEROY T., MONTAGNON C., CHARRIER A., ESKES A.B., 1993. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. I. Characterization and evaluation of breeding populations and value of intergroup hybrids. *Euphytica* 67 : 113-125.
- LEROY T., MONTAGNON C., CILAS C., YAPO A.B., CHARMETANT P., ESKES A.B., 1997. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first intergroup crosses. *Euphytica* 95 : 347-354.
- MILLOT F., 1969. Inventory of the coffee varieties and selections imported into and growing within East Africa: record of previous selection and breeding work. Nairobi, Kenya, East African Agriculture and Forestry Research Organization, 193 p.
- MONTAGNON C., 1994. Mission d'appui à la production de matériel végétal et au programme de recherche-développement en Guinée forestière dans le projet RC2 et à l'IRAG. Montpellier, France, CIRAD-CP, Doc CP 267, 78 p. (document interne).
- MONTAGNON C., LEROY T., ESKES A.B., 1998. Amélioration variétale de *Coffea canephora* .1. Critères et méthodes de sélection. *Plant. Rech. Dév.* 5 (1) : 18-33.
- MONTAGNON C., LEROY T., YAPO A.B., 1993. Caractérisation et évaluation de caféiers *Coffea canephora* prospectés dans des plantations de Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 37 (2) : 115-119.
- MOSCHETTO D., MONTAGNON C., GUYOT B., PERRIOT J.J., LEROY T., ESKES A.B., 1996. Studies on the effect of genotype on cup quality of *Coffea canephora*. *Trop. Sci.* 36 : 18-31.
- MUHAMAD GHAWAS M., 1994. Yield performance and selection of Robusta clones at Gajah Mati, Kedha. *Mardi Res. J.* 22 (2) : 141-147.
- RAM A.S., SREENIVASAN M.S., NAIDU R., 1994. Exploitation of coffee germplasm in India. II. Diploid species. *J. Coffee Res.* 24 (2) : 107-114.
- RAVOHITRARIVO C.P., 1980. Etude de la variabilité des descendances et des problèmes liés à l'amélioration des caféiers cultivés diploïdes. Thèse de doctorat de 3^e cycle, université de Madagascar, 105 p.

Varietal improvement of *Coffea canephora*

II. Breeding programmes and their results

Montagnon C.¹, Leroy T.², Eskes A.B.³

¹ CIRAD-CP, Institut des Forêts/Département Café Cacao (IDEFOR/DCC), 01 BP 1827, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

² CIRAD-CP, Centre de recherche Nestlé, 101 avenue Gustave Eiffel, BP 9716, 37097 Tours Cedex 2, France

³ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

This second part of *Varietal improvement of Coffea canephora* reviews the breeding methods employed and the results obtained at breeding centres in Asia, Africa and the Americas. The reciprocal recurrent selection programme implemented in Côte d'Ivoire is considered in particular detail.

Part 1 (Montagnon *et al.*, 1998) looked at the theoretical aspects of conventional *Coffea canephora* improvement programmes and the new varietal improvement tools available.

This second part sets out to review past and present breeding programmes in the various countries interested in *Coffea canephora*.

History of breeding worldwide

The main *C. canephora* breeding centres have moved over the years (map).

Asia

C. canephora breeding began in Java at the turn of the century (Cramer, 1957). The basic material came primarily from Zaire ("Robusta"), Uganda ("Ugandae") and Gabon ("Canephora"). "Quillou" varieties were also sent from Europe, with no precise details of their African origin. Breeding was primarily based on Robusta, although there was a good deal of intercrossing between the different types. After a few mass

selection cycles, mother-trees were identified for seed distribution, and around fifteen clones were bred from the 1920s onwards (SA, BP series, etc.).

There were a few *C. canephora* introductions into India between 1950 and 1970 (Ram *et al.*, 1994). After a mass selection stage, well-known clones, such as "Robusta Balehonnur" or "BR", were identified and offered to growers. Studies are continuing to evaluate the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of these BR clones. Congusta hybrids have also been stabilized, and have been fairly successful with growers. Indian researchers recently mentioned the occurrence of Dwarf *C. canephora* varieties (Kumar *et al.*, 1994).

Breeding work did not really begin in Malaysia until 1980, from a few introductions made at the turn of the century, probably from Java (Muhamad Ghawas, 1994). Since then, three clones have been bred, including clone BP 409, whose name recalls its Indonesian origin.

Java selections were introduced into Papua New Guinea between 1935 and 1953 (Charmetant, 1994). Several polyclonal seed gardens were set up, and this was the only material available until 1987, when selected seeds were introduced from Côte d'Ivoire. From these, 18 clones (PNS 1 to 18) were bred. Selected clones were recently introduced from Côte d'Ivoire; adaptation trials are under way.

Africa

In the Belgian Congo (ex-Zaire, then Democratic Republic of the Congo), the Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo belge (INEAC) launched *C. canephora* breeding programmes very early on (Capot, 1962). Distribution was primarily in seed form. The basic material comprised seeds selected in Java and local wild populations. From 1933 to 1956, breeding improved seed performance, and seven mother-trees were eventually identified and used in a polyclonal seed garden. Breeding is now based on crosses between "Robusta" (grown