

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.<sup>1</sup>, Leroy T.<sup>2</sup>, Eskes A.B.<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> 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 clonales, 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.

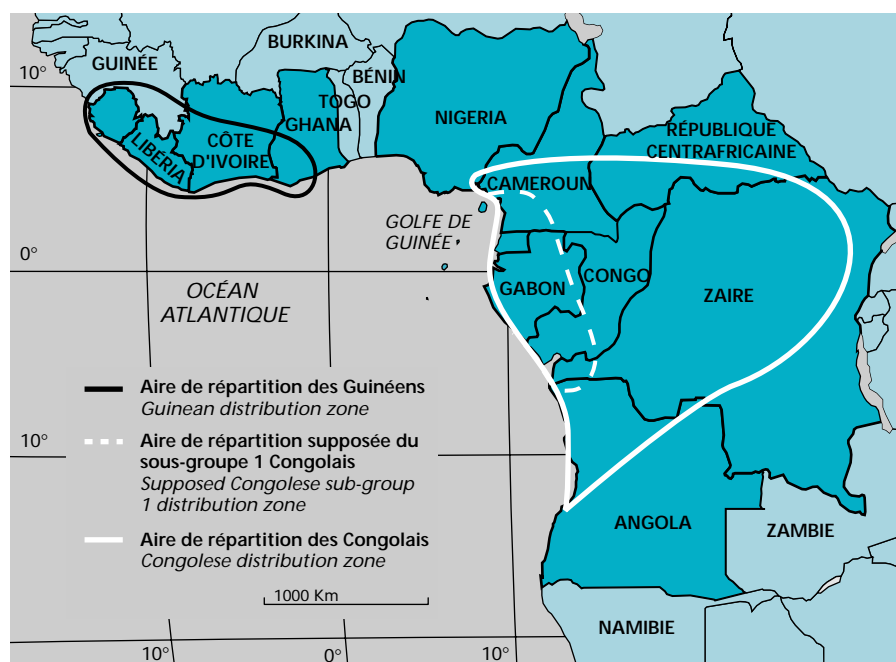
## Historique de la culture et prospections

L'aire naturelle de répartition de *C. canephora* s'étend de l'ouest au centre de l'Afrique (carte). Sa culture remonte au XIX<sup>e</sup> siècle en Ouganda et dans la partie orientale du bassin du Congo. Au début du XX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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'IRCC<sup>1</sup> 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).

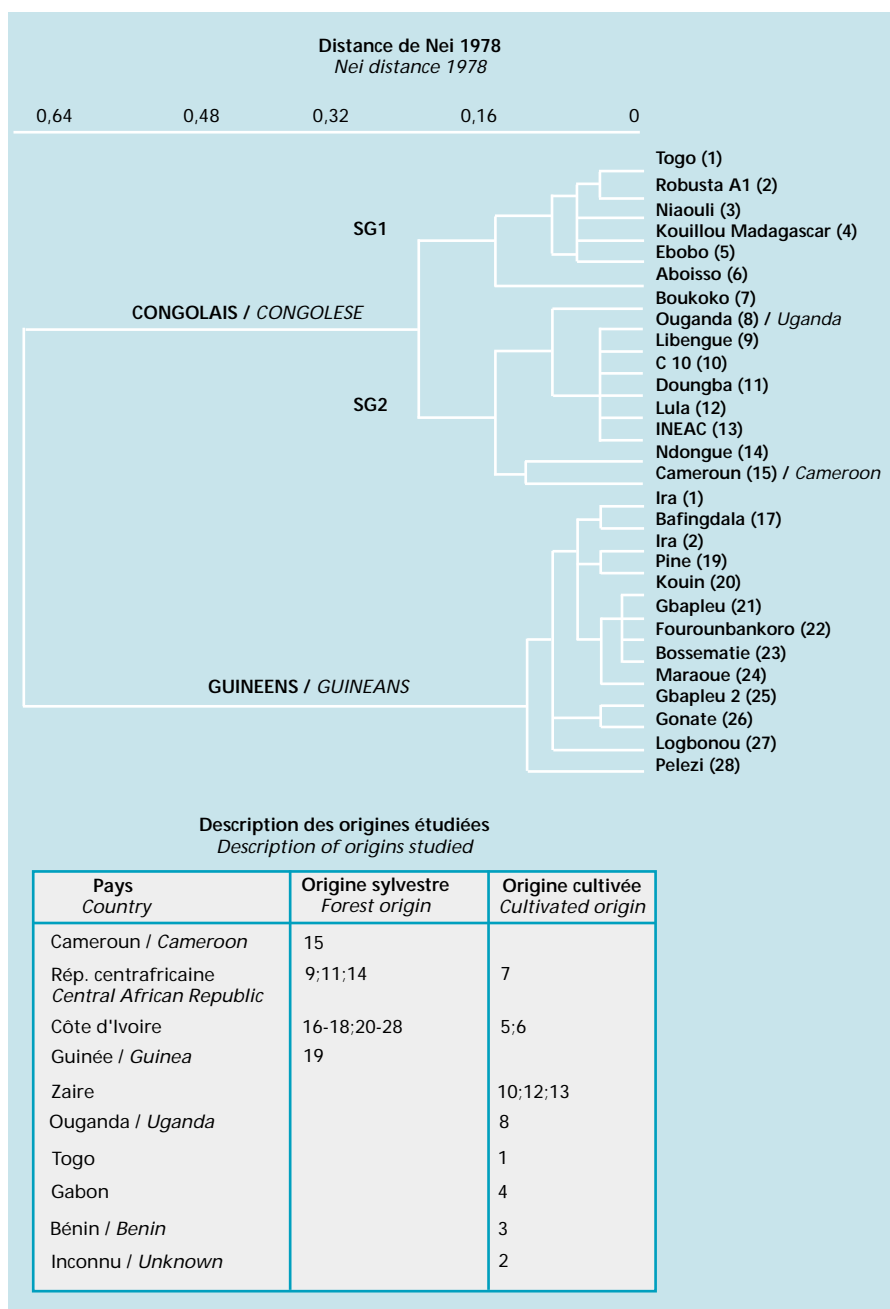
La diversité génotypique du matériel disponible en sélection est résumée sur un dendrogramme (figure 1) et les caractéristiques de chaque groupe dans les tableaux 1 et 2. Les groupes Guinéens et Congolais sont identifiés grâce à trois loci discriminants PGD1, ICD et PAC. Les deux sous-groupes Congolais 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 allié, 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		174
		Cultivés Cultivated	Cultivés Cultivated	Sauvages Wild	
		84	105	91	
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>
<b>Effectif <i>Numbers</i></b>		84	105	36 à 90	39	70 à 135
<b>Feuilles <i>Leaves</i></b>	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>
<b>Fruits</b>	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>
<b>Divers <i>Miscellaneous</i></b>	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 ?

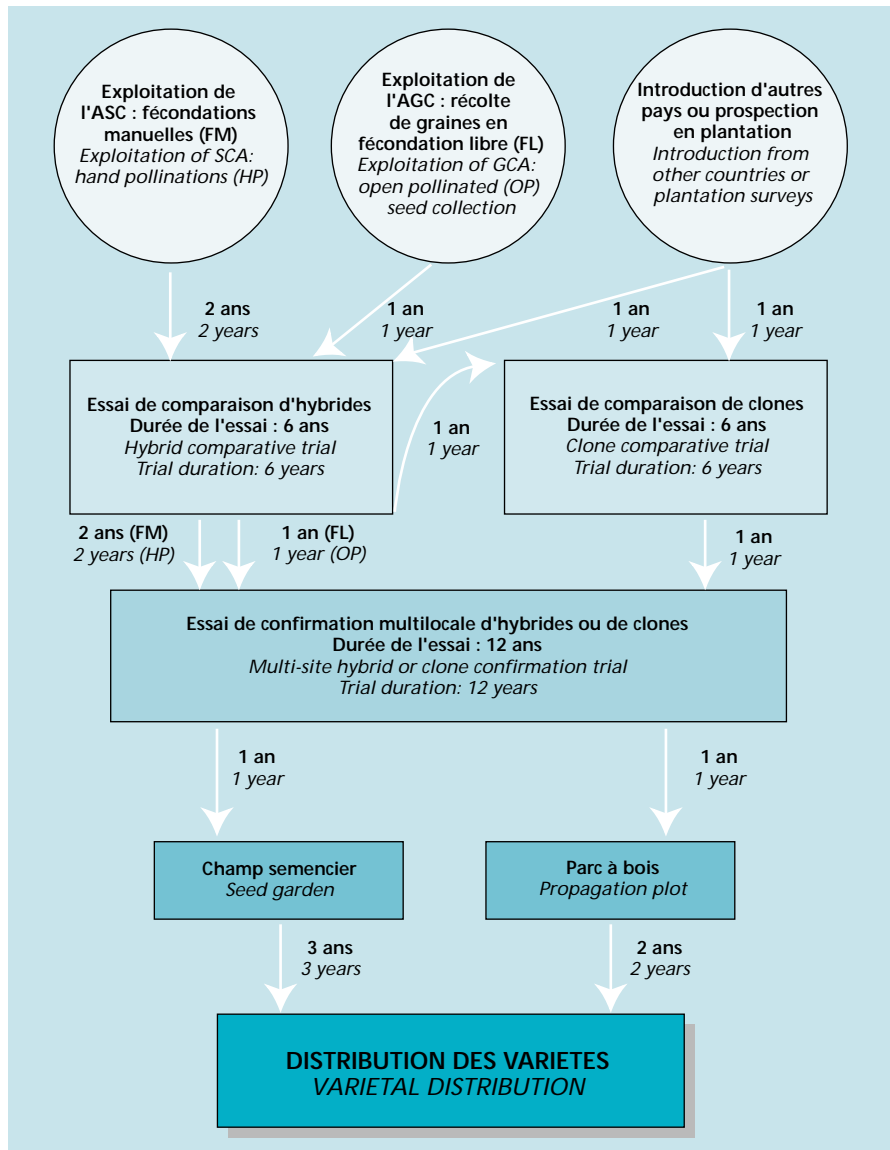
Jusqu'à une période récente, la priorité de sélection était d'obtenir des variétés hautement productives, sans tenir compte spécifiquement de la qualité du café produit, de la résistance aux maladies et aux insectes et de la capacité à produire en réduisant les intrants. Plusieurs évolutions ont contribué 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 (Bouharmont *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 RFLP<sup>2</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>ère</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 précocé 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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.
- 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> Colloque scientifique international sur le café, San Francisco, Etats-Unis, 14-19 juillet 1991. Paris, France, ASIC, p. 392-402.

# Varietal improvement of *Coffea canephora*

## I. Criteria and breeding methods

Montagnon C.<sup>1</sup>, Leroy T.<sup>2</sup>, Eskes A.B.<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

This first part gives a reminder of the ways in which coffee varieties are distributed, a brief history of initial breeding work and a characterization of the planting material available. The theoretical aspects of breeding and a description of the target varieties provide indicators for making a decision on the type of scheme and selection criteria to apply.

The coffee produced by *Coffea canephora* is of major economic importance for many tropical countries. *C. canephora* has been grown on a large scale for barely 100 years. In a century, substantial efforts have been made on agronomy and varietal improvement, increasing its production potential. However, varietal improvement has been neglected in the past few decades, except in a few countries such as Côte d'Ivoire. Varietal improvement could solve some of the problems posed by this crop: improving profitability, parasite resistance, improving cup quality, adaptation to specific outlets such as instant coffees, environment-friendliness, etc.

This article sums up the possibilities for *C. canephora* improvement, proposing indicators and devices to assist in making decisions on the programme to be implemented.

### *C. canephora* biology

*C. canephora* is a diploid ( $2n = 22$ ), with hermaphrodite, strictly allogamous flowers due to gametophytic incompatibility (Berthaud, 1980; Lashermes *et al.*, 1996). The species can flower once or several times a year, after at least 10 mm of rain following a period of water stress. In zones near the Equator, without a marked dry season, it can flower all year round. The berry ripening period varies from eight to twelve months, depending on the variety and the environment. The seeds remain viable for four to six months, but viability can relatively easily be extended by one to two years (Couturon, 1980).

*C. canephora* growth is dimorphic: the main stems (orthotropic axes) grow vertically and the branches (plagiotropic axes) horizontally. It is relatively easy to produce horticultural cuttings (Capot, 1966).

### Varietal types

The traditional *C. canephora* varieties are heterogeneous populations produced from seed. The selected varieties are mixtures of hybrid

progenies or of clones. Mixtures have to be used because of the strict allogamy of *C. canephora*. The hybrids are known as "clone hybrids", as the parents are heterozygous, which means that there is a degree of genetic variability within them. Only the hybrids obtained recently from double haploids (Couturon, 1986) can be called true "F1" hybrids. Hybrid seeds are produced in bi- or multiclinal seed gardens, which have to be isolated from other coffee plantings, and the seeds are not harvested from border trees, to avoid introducing undesired combinations into the seed garden. The parents in the seed garden must have a common flowering period, although it is possible to delay the flowering of early coffee trees, either by irrigation (to prevent water stress) or by late regeneration, to stagger their physiological cycle. One hectare of seed garden produces an average of 500 kg of usable seeds, corresponding to around 2 000 ha of plantings.

Clonal varieties are often propagated by taking cuttings from non-woody orthotropic shoots, with a rooting phase in trays followed by transfer to polybags (Capot, 1966). Direct propagation by cuttings under tunnels (Charmetant, 1988) improves the efficacy of the technique. One hectare of propagation plot can produce up to two million cuttings per year, to plant around 1 000 ha (Capot, 1966).

Recent developments in *in vitro* microcutting and somatic embryogenesis techniques (Yasuda *et al.*, 1985; Zamarripa *et al.*, 1994; Berthouly and Michaux-Ferrière, 1996) hold promise of high multiplication rates. These techniques are not yet widely used, except in Uganda, where somatic embryogenesis by temporary immersion (RITA), developed by CIRAD (Berthouly *et al.*, 1995), is used.

*C. canephora* biology means that breeding can be geared towards producing either clone hybrids distributed as seed or clones distributed as cuttings. In many producing countries, clones have been chosen, as they are more productive and uniform than hybrids. However, cuttings

cost on average ten times more to produce than seeds. The creation of new generations of hybrids could re-orient the distribution strategy.

### History of cultivation and surveys

The natural zone of *C. canephora* distribution stretches from West to Central Africa (map). Its cultivation dates back to the XIXth century in Uganda and the eastern part of the Congo basin. At the start of the XXth century, *C. canephora* seeds originating from Central Africa were sent to Java, where the first breeding work began. The "Robusta" variety of *C. canephora* was bred and rapidly replaced *C. arabica*, which had fallen victim to leaf rust, in the low-altitude zones of Southeast Asia. From 1910 onwards, varieties bred in Java were sent back to Central Africa as seed. In West Africa, local populations emerged and assumed the status of varieties, for instance "Niaouli" in Benin (formerly Dahomey), "Kouillou" in Gabon and "N'Ganda" in Uganda. These different types of varieties were introduced into most producing countries, including Brazil, in successive waves, hence a range of varieties is now available for genetic improvement. In addition, there are the wild coffee populations surveyed jointly by IRCC<sup>1</sup> and the *Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération* (ORSTOM). Surveys have been carried out in most of the *C. canephora* distribution zone, with Gabon and the northeastern Zaire-Uganda zone remaining.

### Characterization and diversity of the plant material available for breeding

The material available for breeding is stored in *ex-situ* collection plots, the wealthiest of which are in Côte d'Ivoire. There are two main types of

(1). Formerly the *Institut de Recherche du Café et du Cacao*, now part of the tree crops department of the *Centre International en Recherche Agronomique pour le Développement* (CIRAD-CP)

collection: collections of wild coffee trees, with only genotypes collected from forest areas, and working collections, containing all the varieties either cultivated or bred (local varieties and populations, smallholder planting surveys, varieties bred at research stations, etc.). The genotypic and phenotypic characterization of these collections enabled a study of the diversity of the material they contain.

In the 1980s, isozyme electrophoresis was used to identify two genetic groups within the wild *C. canephora* populations: Guineans (Guinea region, Côte d'Ivoire) and Congolese (Central Africa: Central African Republic, Congo, Cameroon) (Berthaud, 1986) (map). The same technique subsequently showed that the Congolese genotypes available for breeding could be split into two sub-groups: sub-group 1, containing cultivated varieties originating from Gabon and Benin, and sub-group 2, containing wild genotypes and cultivated origins from continental Central Africa (Montagnon *et al.*, 1992) (map). From a historical point of view, it would be worth adjusting the former names "Robusta" and "Kouillou", which were defined according to solely morphological criteria (Cordier, 1961; Portères, 1959). The Guinean group contains the so-called "Kouillou" varieties from Côte d'Ivoire. Congolese sub-group 1 contains the so-called "Kouillou" varieties from a zone stretching from Benin to Gabon. Congolese sub-group 2 contains all the varieties formerly called "Robusta", all originating from Central Africa (Montagnon *et al.*, 1992).

The genotypic diversity of the material available for breeding is summarized in a dendrogram (figure 1), and the characteristics of each group in tables 1 and 2. The Guinean and Congolese groups can be identified by three discriminating loci, PGD1, ICD and PAC. The two Congolese sub-groups differ for loci ESTB, PGI and PGH. The phenotypic differences, studied by Berthaud (1986), Montagnon *et al.* (1992), Leroy *et al.*, (1993), Montagnon and Leroy (1993), Montagnon *et al.* (1993a), Montagnon *et al.* (1993b), Montagnon *et al.* (1994) and Moschetto *et al.* (1996) can be summed up as follows:

- Guineans: small, round leaves, fruits with a flat disc, small beans with a high caffeine content, branched, precocious plants generally susceptible to leaf rust but resistant to drought and twig borers. Cup quality is poor;
- Congolese sub-group 1: medium-sized, tapering leaves, large beans with a high caffeine content, generally well branched, very late-bearing plants, moderately resistant to leaf rust, highly resistant to twig borers and drought. The beverage combines aroma, body and bitterness, and sometimes low acidity;
- Congolese sub-group 2: large, broad leaves, large beans (except wild populations) and

low caffeine content, slightly branched, moderately late-bearing plants, highly resistant to leaf rust, sensitive to drought and susceptible to twig borers. The beverage combines good aroma, low acidity and, generally, average body and bitterness, typical of Robusta coffee;

- the beverages obtained from clones produced from hybrids between Guinean and Congolese populations can have very variable characteristics.

### **C. canephora improvement methods**

#### **Adaptive breeding**

In adaptive breeding, plant material is not created, but existing varieties are tested for their adaptability. This can mean clones introduced from other countries or clones obtained from elite trees identified in local plantings and amongst introduced or local clone hybrids. Comparative trials with a statistical design can be preceded by simple evaluation in collections, particularly if the number of varieties introduced (clones or hybrids) is high.

#### **Varietal creation**

Varietal creation is based on recombining favourable characters in crosses between selected genotypes. Recombination is conventionally governed by the choice of parents identified for their GCA, and possibly their SCA (box 1).

It is relatively easy to evaluate GCA. However, evaluating SCA means carrying out a large number of controlled pollinations (Capot, 1964). Genetic diversity studies can help to guide the choice of parents to be recombined. Crosses between the two groups - Congolese and Guineans - are generally more vigorous and productive than crosses within the groups (Berthaud, 1986; Leroy *et al.*, 1993). Reciprocal Recurrent Selection (RRS) can be used to exploit both GCA and SCA.

The choices to be made when embarking on an improvement programme

#### **Hybrid or clonal varieties?**

It costs substantially less to produce plants from seed than from cuttings (Losch *et al.*, 1992). Despite this, many countries have chosen to produce clonal varieties, which are more uniform and more productive than hybrids (Capot, 1977). However, since the start of the 1980s, crosses between the Guinean and Congolese groups have proved superior to the best clonal varieties previously distributed to growers (Leroy *et al.*, 1993). If these results are

confirmed on a large scale, further thought could be given to distributing hybrid varieties.

#### **Available genetic variability**

A breeding programme aimed at distributing hybrid seeds should have genotypes from the two main groups - Guineans and Congolese - so as to make use of between-group hybrid vigour. All the producing countries currently have Congolese genotypes, but virtually only Côte d'Ivoire and Guinea have Guinean genotypes. The genetic variability available in a country can be estimated using introduction records or by comparing the phenotypic diversity observed with that described in the literature (table 2). In some cases, a mission by an expert can provide a rapid, accurate answer.

#### **Programme completion time**

Figure 2 is a diagram of the possible ways of distributing new varieties. The minimum time taken to complete a programme is 23 years to distribute cuttings obtained by adaptive breeding of clones introduced from other countries and 31 years to distribute cuttings produced from clones identified in trials of hybrids selected for their SCA. These times can be reduced by reducing the length of the confirmation phase or moving directly to that phase if the number of varieties to be confirmed is small.

The complexity of the programme is increased by moving from adaptive breeding to creative

#### **■ GCA of SCA**

The General Combining Ability (GCA) of a genotype is equal to the mean value of the genotype when crossed. It is estimated as the mean of a half-sib family obtained by open pollination of the genotype or by legitimate progenies (controlled crosses).

Specific Combining Ability (SCA) represents the interactions between the gametic contributions of two genotypes. It is the difference between the observed value of the cross and the sum of the GCA of the two parent genotypes.

If N parents are to be tested for their GCA, it is theoretically sufficient to collect open-pollinated seeds from the N genotypes and compare the N families of half-sibs. However, to compare the SCA (two by two), N(N + 1)/2 controlled pollinations have to be carried out and all the full-sib families compared.

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

The SCA test very rapidly becomes extremely cumbersome, and the choice of parents has to be very rational, for instance using only parents with a good GCA

breeding, using firstly GCA and then SCA. However, this is not always the most efficient method. In most countries, hybrid breeding based on GCA began using the best clones identified by adaptive breeding as parents. However, there is no reason in theory why these high-yielding clones should be good parents. It is more relevant and effective to launch varietal creation programmes using high-yielding parents representative of the diversity of *C. canephora*. This will call for increased exchanges of information on the improvement of the species worldwide and/or exchanges of plant material. The creation of the African coffee research network (RECA) is an interesting example.

### Selection criteria and evaluation methods

#### What varieties for the future?

Until recently, the main priority in breeding was to produce high-yielding varieties, without specifically taking account of the quality of the coffee produced, disease and insect resistance and the ability to produce whilst reducing inputs. Several developments led to a review of selection criteria: world coffee price instability and the need to cut production costs, exhaustion of pioneer fronts and replanting on fallow land, increased consumer awareness of coffee quality and increased interest in environmental protection and conservation.

Tomorrow's varieties will therefore have to have a high potential to produce coffee of good organoleptic quality, whilst reducing production costs in terms of inputs and labour and protecting the environment.

The selection criteria to be applied (table 3)

#### Coffee quality

Quality covers the whole range of physical, chemical and aromatic characteristics consistently sought and requested by roasters and consumers. Consequently, this does not only mean "gourmet" type coffees. The criteria chosen to improve coffee quality are therefore bean size and organoleptic potential (assessed by tasting). However, selection criteria linked to very precise outlets such as extraction potential for instant coffee manufacture should not be overlooked. Coffee berry borer resistance and a concentrated fruit ripening range indirectly improve quality. Demands concerning caffeine content vary. In general, the move is towards its reduction, but *C. canephora* also occupies markets in which a certain content is required.

#### Increasing profitability and productivity

- Productivity remains the most important selection criterion. With the latest selected varieties, growers should achieve yields of

over two tonnes of merchantable coffee per hectare, provided they practise sufficient intensification;

- reduced inputs: disease and insect resistance reduces input costs. A short fruit ripening range helps to limit coffee berry borer outbreaks, hence pesticide use. Breeding varieties less dependent on fertilizer applications obviously reduces the share of fertilizers in input costs. Varieties whose architecture is suited to high densities or topping help to reduce weed growth, hence herbicide use;
- reduced labour requirements: a short fruit ripening range reduces the number of harvesting rounds. Large beans facilitate harvesting, hulling and skinning. A reduction in labour requirements goes hand-in-hand with reduced use of inputs, hence reduced application times. Lastly, breeding varieties that produce few suckers reduces the time taken to prune them.

#### Environmental conservation

Reduced use of inputs automatically contributes to environmental conservation. It is very tempting to fell the forest and plant coffee in order to benefit from highly fertile forest soils. As those varieties that are rustic and vigorous when young are less dependent on soil quality, they are easier to use when planting coffee after fallow.

#### Setting up trial plots

##### Statistical design

Irrespective of the treatments compared (clones or hybrids), two types of statistical design can be used for *C. canephora*: Fisher blocks (a block generally comprises a row of five to ten coffee trees) and totally randomized single-tree plots. In most cases, Fisher blocks are used as they are easier to manage. Totally randomized single-tree plots ensure substantially increased accuracy, particularly in plots with marked microheterogeneity (Charmetant and Leroy, 1990). However, they are more difficult to set up, as regards computer management and observation times (tree by tree). Only already well advanced improvement programmes with sufficient staff and financial resources can amortize this scientific investment. The minimum number of individuals per treatment is estimated at 30 for clones and 45 for hybrid progenies in the case of total randomization and 40 and 60 respectively in the case of Fisher blocks.

#### Crop techniques practised in varietal improvement trials

It is not uncommon for there to be a marked difference between the optimum crop techniques recommended by research and their degree of application by coffee growers, which is generally poor. Thought therefore has to be given to reorienting recommendations regarding

crop techniques so as to adapt them to the constraints on growers. The new crop techniques can be tested as a second factor in varietal improvement trials, hence reducing the overall cost of coffee research (saving on land and time) and determining the degree of adaptation of the varieties being bred to different levels of technical skills; alongside the multi-site confirmation stage, varietal trials on smallholdings should be considered.

#### Selection criteria (box 2)

Certain selection criteria can respond to specific constraints in a given country, for instance adaptation to waterlogged soils in Papua New Guinea (Charmetant *et al.*, 1993). Drought can be a limiting factor in certain regions. Drought resistance or tolerance can then be integrated as a selection criterion (Montagnon and Leroy, 1993). Variegated grasshoppers and caterpillars cause serious damage in certain countries. However, it is illusory to think that resistant varieties can be created in the near future, and chemical control is the only effective weapon.

#### Some genetic parameters

The different studies of the genetic parameters of *C. canephora* described in the literature are difficult to compare, as they use planting material of various origins. Narrow sense heritability, calculated from individual data, is high for architectural characters (0.22 to 1.00) and moderate for tree vigour when young (0.13 to 0.48). The heritability of young tree productivity is high (>0.7), but lower for yields from older trees (<0.2). The weight of 100 beans is moderately heritable (0.15 to 0.30). The phenotypic and genetic correlations between tree vigour and productivity are close (>0.6), but those between yields and 100-bean weight, an important coffee improvement character, are not (Leroy *et al.*, 1994). These results tally with those in the literature (Bouharmont *et al.*, 1986; Ravohitrarivo, 1980). Caffeine content transmission is apparently additive (Le Pierrès, 1988).

#### Genotype-environment interactions

The interactions between genotypes and the environment (year, site) have been studied for susceptibility to leaf rust (Holguin *et al.*, 1993; Montagnon *et al.*, 1994) and bean size (Charmetant and Leroy, 1986; Charrier and Berthaud, 1988). Few studies are available concerning yields. It is worth noting that three (Charrier and Berthaud, 1988) or two (Leroy *et al.*, 1994) harvests can be sufficient to estimate the production of a cycle (five years). Genotype-site interactions are often significant for yields (Charrier and Berthaud, 1988), which has resulted in recommendations of different clone

### ■ Box 2. Evaluation of criteria

- Production potential is estimated by the weight of fresh cherries harvested. The figures for four harvesting years, including at least two good years, have to be cumulated for an effective evaluation of the treatments being compared (Leroy *et al.*, 1994). When precise harvest measurements are impossible, they can be replaced, with a good level of correlation, by visual assessments of production capacity just before harvesting (Leroy, 1993);
- bean size is estimated either by the weight of 100 beans at 12% relative humidity or by grading. Samples are taken from several trees or blocks. This evaluation should be repeated in at least two years, preferably one with high and one with low yields (Charmetant and Leroy, 1986);
- organoleptic criteria are evaluated by tasting. No reliable biochemical markers have yet been identified to predict a specific coffee aroma quality. For tastings, as well as national organizations, it is wise to call upon specialized centres such as CIRAD and/or industrial roasters (Moschetto *et al.*, 1996);
- the degree of concentration of fruit ripening is assessed on three levels: the tree, the clone or hybrid and the mixture of clones or hybrids. It can simply be evaluated visually: score from 1 to 5. An index can also be calculated by dividing the weight of cherries harvested during the main harvesting round by the total annual crop (Leroy, 1993);
- the optimum yield with low fertilizer rates is evaluated simply by reducing fertilizer rates to a minimum (restitution) and choosing soils representative of fallow areas in the country for trials. It is also possible to combine varietal trials with a fertilizer factor and study the response to fertilizers of each of the varieties tested (Kibirige-Ssebunya *et al.*, 1993);
- the reaction to leaf rust is evaluated by a visual score of 1 to 5 (Montagnon *et al.*, 1994). At least two evaluations are required: when young and in a year with high yields;
- susceptibility to coffee berry borers can be evaluated by counting the number of damaged beans in a sample of coffee produced by the variety. Particular attention should be paid to the sampling method (Rémond *et al.*, 1995);
- susceptibility to twig borers is evaluated by counting the number of twigs with at least one hole bored by the insect (Montagnon *et al.*, 1993a);
- tree architecture can be evaluated either visually, with a score of 1 to 5 awarded by the breeder (two and six years after planting) or by measuring height, the longest primary axis and the number of orthotropic and plagiotropic internodes at two years (Leroy *et al.*, 1994). The aim of assessing tree architecture is to improve the harvesting index (relation between the vegetative part of the tree and the crop). The target is therefore to breed small, branched, bushy trees;
- suitability for topping can only be evaluated by testing the topped clones in a trial with two factors (variety and growth method) (Viroux and Petithuguenin, 1993);
- sucker production can be evaluated by stopping sucker removal on the varieties for several months and awarding a visual score of 1 to 5.

mixtures depending on the region, in Cameroon (Bouharmont and Awemo, 1979) or in Côte d'Ivoire (Capot, 1977).

Studies under way in Côte d'Ivoire have confirmed the existence of these interactions and revealed the importance of the types of soil used. Multi-site trials are therefore warranted.

### New tools for varietal improvement

#### More effective use of quantitative genetics

Specific softwares adapted to breeders' requirements have recently been developed in line with quantitative genetics theories. The Opep software (Baradat and Labbé, 1995) is now widely used at CIRAD-CP. It covers the following fields: file management, design generation and management, quantitative genetics and population genetics. The quantitative genetics part enables an easy estimate of the conventional genetic parameters (heritability, genetic correlations, etc.), but also application of selection indexes and forecasts of genetic

progress depending on the selection rate applied. Opep can also indicate predictive characters to refine the estimate of a given target character and assess the quality of early selection.

The contribution of molecular biology  
Progress has been made in *C. canephora* molecular biology in recent years. Diversity analysis by RFLP<sup>2</sup> seems to confirm isozyme analyses (Dussert, pers. comm.). The use of double haploids led to an initial genetic map of *C. canephora* (Paillard *et al.*, 1996) and the identification on the map of the region responsible for the self-incompatibility of *C. canephora* (Lashermes *et al.*, 1996). These fundamental studies could possibly increase the efficacy of improvement programmes by marker-assisted breeding, particularly to introgress worthwhile genes into *C. canephora* from species close to it.

(2). Restriction Fragment Length Polymorphism.

### Genetic transformation

Initial work at Nestlé (Spiral *et al.*, 1993; Spiral and Pétiard, 1993) led to the regeneration of plantlets transformed by the *Agrobacterium rhizogenes* bacterium for the three cultivated species: *C. canephora*, *C. arabica* and the Arabusta interspecific hybrid. Most of the plants had the "hairy root" phenotype (short internodes, crinkled leaves) characteristic of plants transformed with this bacterium, preventing their cultivation. However, more recent work failed to regenerate plants (Sugiyama *et al.*, 1995). Work recently resumed under collaboration between CIRAD and Nestlé, leading to the regeneration of *C. canephora* plants transformed via *A. rhizogenes* and *A. tumefaciens*, with an agronomically worthwhile gene for leaf miner resistance (Leroy *et al.*, 1997). The success of transformation by *A. tumefaciens*, which means that agronomically usable plants can now be regenerated, opens up interesting prospects for the introduction into coffee of other agronomically or technologically worthwhile genes.

### Conclusions

Those countries wishing to launch or resume *C. canephora* varietal improvement nowadays cannot fail to be aware of the progress made elsewhere in the world. This is why exchanging information has become vital. Such exchanges are fostered by research networks such as the African coffee research network (RECA) and international centres for cooperation in agricultural research such as CIRAD. Nevertheless, those countries that have worked steadily on improvement cannot disseminate their results, including improved varieties, without considerable guarantees.

*C. canephora* varietal improvement could be substantially reoriented in the coming decades. Cup quality could be significantly improved. Recent genetic progress will probably enable a return to the distribution of controlled hybrids that perform as well as the best clones. It is possible that new clones will be distributed rapidly by somatic embryogenesis. Improved yields will be achieved by increasing the *C. canephora* harvesting index. The literature already mentions Dwarf varieties. This reorientation will have to be combined with a change in crop techniques, particularly concerning density.

Mechanization of harvesting seems to be a distant prospect, but increasingly concentrated fruit ripening to ensure better product quality and the selection of Dwarf varieties could enable mechanization at some stage.

Launching or resuming *C. canephora* varietal improvement means making important choices: eventual dissemination of clones or hybrids,

adaptive or creative breeding, hierarchization of selection criteria, tools to be used, breeding trial designs, etc. This article gives some theoretical elements to assist in making such decisions. It is

obvious that each country has its own specificities that govern the improvement strategies to be applied. The second article, to be published in the next issue of *Plantations*,

*recherche, développement*, will summarize the experience and results of *C. canephora* improvement in different countries. ■

## Résumé

Depuis le début de la culture de *Coffea canephora*, l'amélioration variétale a été l'un des moyens les plus efficaces pour l'augmentation du potentiel de production de cette espèce. Les variétés de *C. canephora* sont, soit des clones distribués sous forme de boutures, soit des hybrides de clones distribués sous forme de semences. L'espèce *C. canephora* comprend deux groupes génétiques : les Guinéens et les Congolais. Le groupe Congolais est, lui-même, composé de deux sous-groupes (SG1 et SG2). Cette diversité est décrite au niveau génotypique et phénotypique. Pour adopter un programme de sélection, il faut choisir le type de variétés recherchées (clones ou hybrides), la variabilité génétique disponible et le délai souhaité d'aboutissement du programme. Des clés d'analyses et de choix sont données dans ces domaines. Les variétés de demain devront produire un café de qualité, tout en permettant de réduire les coûts en intrants et en main-d'œuvre en respectant l'environnement. Les critères de sélection et méthodes d'évaluation à mettre en œuvre dans cette optique sont détaillés. Les dispositifs statistiques couramment employés pour les parcelles d'essai sont les blocs de Fisher et la randomisation de parcelles monoarbres. Des éléments de réflexion sur les méthodes culturelles à appliquer dans les essais de sélection sont donnés. Les paramètres génétiques évalués chez *C. canephora* sont rappelés.

## Abstract

Since *Coffea canephora* cultivation began, varietal improvement has been one of the most effective ways of increasing the production potential of the species. The different *C. canephora* varieties are either clones distributed as cuttings or clone hybrids distributed as seed. The *C. canephora* species comprises two genetic groups: Guineans and Congolese, the latter of which is itself split into two sub-groups (SG1 and SG2). This diversity is described in both genotypic and phenotypic terms. To adopt a breeding programme, a decision has to be made on the type of varieties sought (clones or hybrids), the available genetic variability and the time within which the programme has to be completed. Analysis and decision-making indicators are given. Tomorrow's varieties will have to produce quality coffee whilst reducing input and labour costs and respecting the environment. The selection criteria and evaluation methods to be applied to this end are described. The statistical designs commonly used for trial plots are Fisher blocks and randomized single-tree plots. Food for thought is given on the crop techniques to be applied in breeding trials. The genetic parameters evaluated in *C. canephora* are recalled.

## Resumen

Desde que se empezó a cultivar *Coffea canephora*, la mejora varietal fue uno de los medios más eficaces para aumentar el potencial de producción de esta especie. Las variedades de *C. canephora* son, ya sea clones distribuidos en forma de esquejes, ya sea híbridos de clones distribuidos en forma de semillas. La especie *C. canephora* incluye dos grupos genéticos: los Guineanos y los Congoleses. El grupo Congolés es, en sí mismo, compuesto de dos subgrupos (SG1 y SG2). Esta diversidad se describe al nivel genotípico y fenotípico. Para adoptar un programa de selección, es preciso escoger el tipo de variedades buscadas (clones o híbridos), la variabilidad genética disponible y el plazo deseado de desenlace del programa. Se dan claves de análisis y de selección en estos áreas. Las variedades del mañana tendrán que producir un café de calidad, a la par de permitir que se reduzcan los costos de insumos y de mano de obra y al respetar el medio ambiente. Se pormenorizan los criterios de selección y métodos de estimación por aplicar en esta óptica. Los dispositivos estadísticos corrientemente empleados para las parcelas de ensayo son los bloques de Fisher y la randomización de parcelas monoárboles. Se dan elementos de reflexión sobre los métodos de cultivo por aplicar en los ensayos de selección. Se recuerdan los parámetros genéticos evaluados en *C. canephora*.