

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.<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

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.

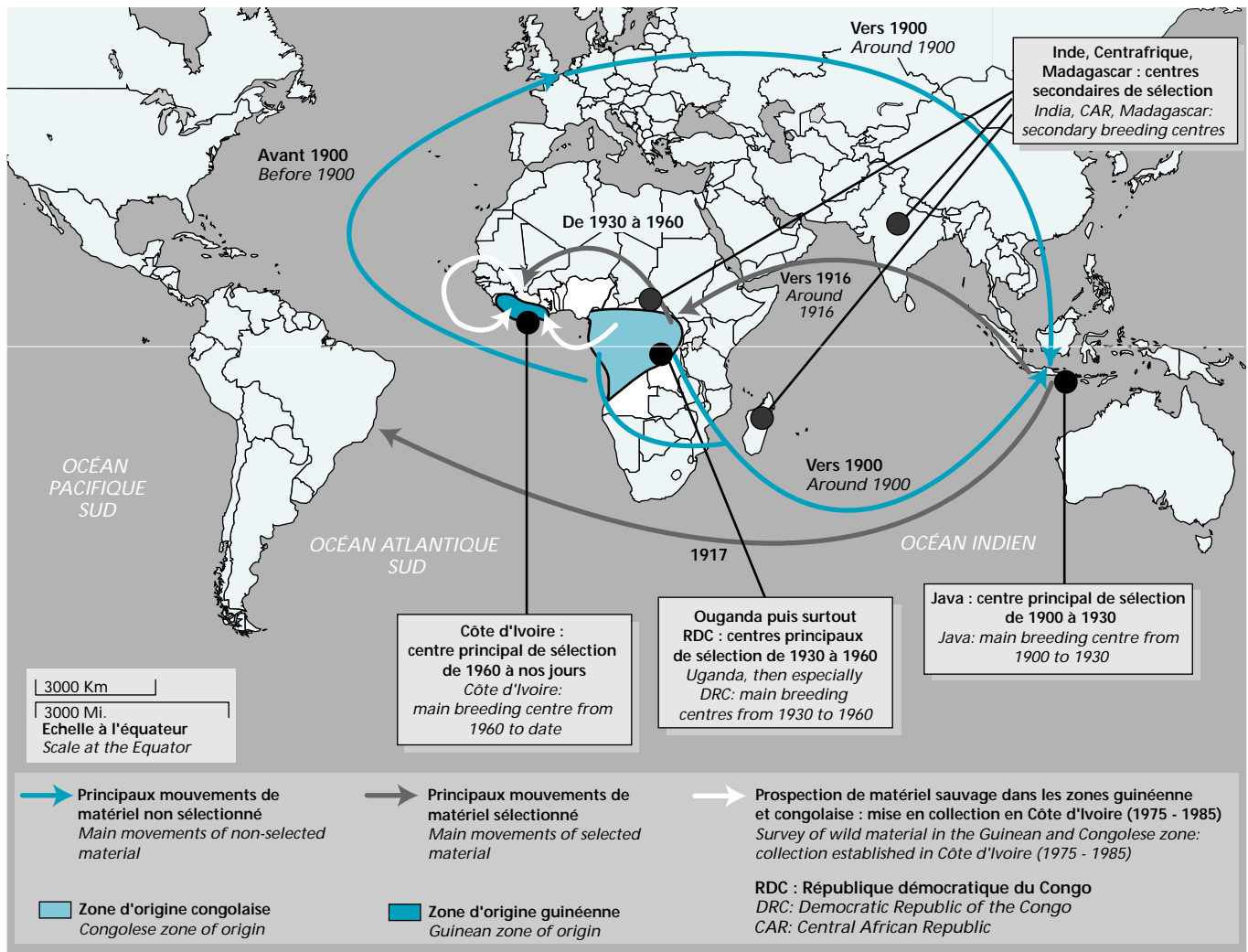
Dans cette seconde partie, les auteurs passent en revue les programmes de sélection, anciens ou récents, des différents pays s'intéressant à *Coffea canephora*.

### 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'IFCC<sup>1</sup> 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 diallèles, 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) :

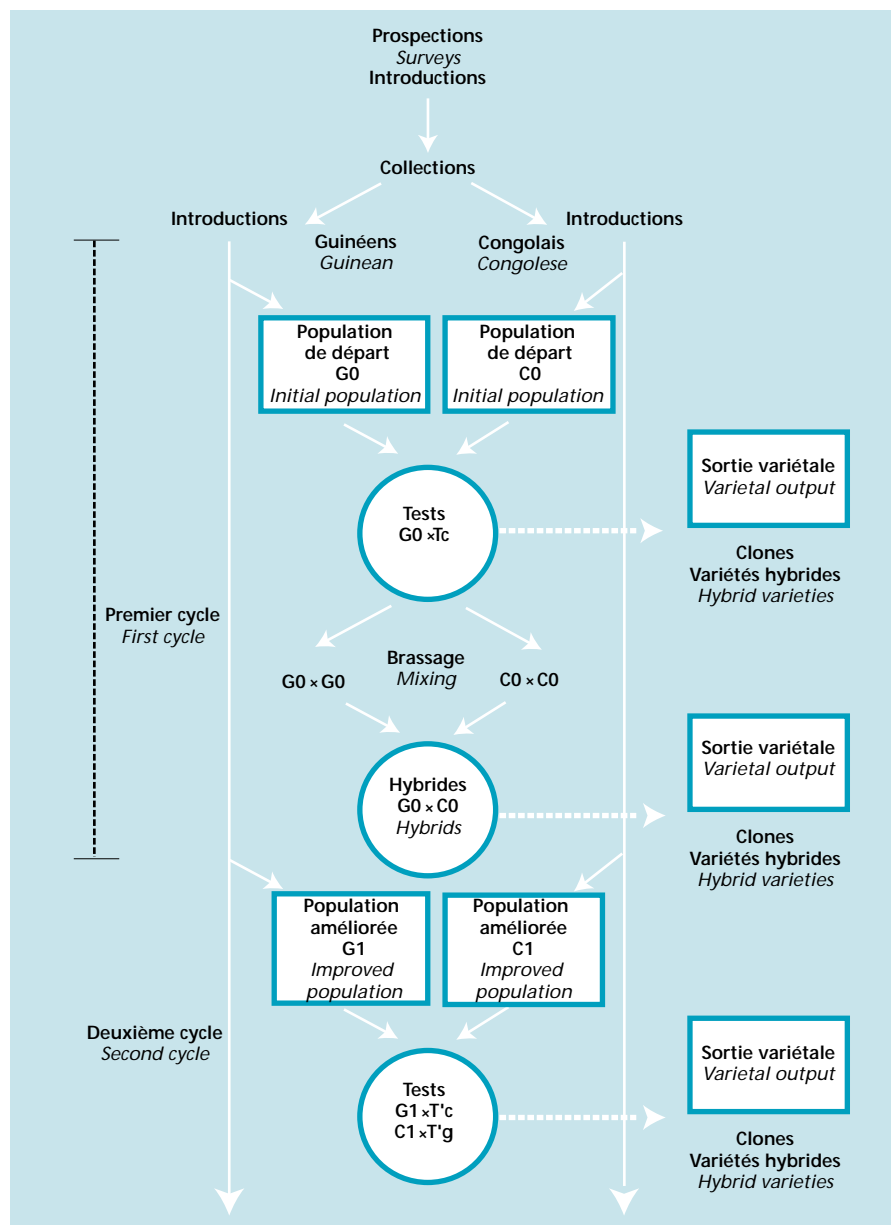
- deux populations de base (ou de départ) sont constituées : une population Guinéenne (G0) et une population Congolaise (C0). Il y a environ 100 individus (= parents) dans chaque population ;
- dans chaque population G0 et C0, deux individus sont identifiés comme testeurs ;
- tous les parents qui constituent 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 libériro-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 culti-
- vés 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<sup>e</sup> cycle, université de Madagascar, 105 p.

## Varietal improvement of *Coffea canephora*

# II. Breeding programmes and their results

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 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.

**P**art 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

in the country's central basin) and "Petit Kwilu" (grown in "bas-Zaire"). The aim is to create drought-resistant varieties ("Petit Kwilu") with large beans ("Robusta").

In the 1960s, IFCC<sup>1</sup> launched a *C. canephora* breeding programme in Madagascar, the Central African Republic and Côte d'Ivoire (Braudeau *et al.*, 1963). This novel and ambitious initiative established uniform breeding methods in a clearly defined programme. The programme comprised a "vegetative selection" aspect aimed at identifying elite clones and a "generative selection" aspect aimed at identifying clone hybrids for distribution as seed. The vegetative aspect was successful in all three countries, but only Côte d'Ivoire had any success with generative selection.

In Madagascar (Braudeau *et al.*, 1963; Ravohitrarivo, 1980), the material available for breeding comprised seeds introduced from Java prior to the 1930s (BE series), interspecific hybrids between *C. canephora* and *C. congensis* known as "de Tonnier" (HA or HB series) and "Robustoids and Kouillous of various, uncertain origins". Surveys were also carried out in the *C. canephora* zone on the south coast (K series). In 1962, 18 clones were plausible candidates for extension, including: two clones from series HA and HB, two from series BE and 14 from series K. By the end of the 1970s, six hybrids were ready for extension.

In the Central African Republic (Dublin, 1967), the material available for breeding came almost solely from seeds from Zaire (Robusta). There were other origins in collections, but they performed less well than Robusta and were not used for breeding. By 1967, some thirty elite clones had been identified as candidates for extension.

The material available in Côte d'Ivoire (Capot, 1977) included surveys in plantations in Côte d'Ivoire and introductions from abroad (Zaire, Madagascar, Central African Republic, Cameroon, Uganda, etc.). Clonal breeding in the country led to the identification of seven clones in the 1970s, almost all from the Ivorian plantation surveys. Moreover, so-called "generative" breeding was widely pursued, and around a dozen superior hybrids were identified. However, they produce around 35% less than clonal varieties and are only distributed in the event of a shortage of cuttings.

Cameroon benefitted from the work carried out in other countries by introducing selections from Java, Zaire, Côte d'Ivoire, Madagascar and the Central African Republic (Bouharmont and Awemo, 1979). Around 1975, 12 clones were

bred, five of them from the Central African Republic, three from Java, two from Côte d'Ivoire, one from Madagascar and one from Zaire. Cameroon pressed ahead with a clonal hybrid breeding programme for some time, setting up diallel trials in which the hybrids achieved 75% of the productivity of the best clones (Bouharmont *et al.*, 1986).

In Uganda (Kibirige-Ssebunya *et al.*, 1993; Millot, 1969), *C. canephora* improvement began in 1916. The initial material was selected seeds from Java, clones of various origins (Netherlands, Portugal, Madagascar) and seeds harvested from local wild populations. Two types of coffee trees have traditionally been identified in Uganda: erect and bending. Breeding identified mother-trees that were planted in polyclonal seed gardens (Erecta 35) in the 1950s, then eight clones that were distributed from the 1970s onwards, three of them erect and five the "Nganda" bending type.

Guinea has also benefitted from old introductions from Zaire (Montagnon, 1994). However, adaptive breeding has been based for over ten years on material bred in Côte d'Ivoire. There are a few renowned local varieties, for instance "Gamé" or "Kissi".

The traditional variety in Togo (Agbodjan and Bertrand, 1988) is the Niaouli, which originated from Benin. In 1967, 143 clones were introduced into Togo, primarily from Côte d'Ivoire. At the end of the 1980s, other clones were reintroduced, again from Côte d'Ivoire. This resulted in the selection of seven or eight clones, most of which are distributed in Côte d'Ivoire.

At the end of the 1980s, Angola (Charmetant, 1986) had clones and hybrids bred in Côte d'Ivoire and old collections of local varieties and introductions from Zaire. The varieties traditionally grown in Angola are known as "Amboim", probably imported from Zaire, and "Ambriz", which is apparently the result of crosses between varieties introduced from Zaire and local wild trees.

The only *C. canephora* trees grown in Burundi (Capot, 1979) are the progenies of seeds selected in Zaire.

Tanzania has also benefitted from a number of introductions from Uganda. The material now available for breeding is apparently erect (around a dozen genotypes from Uganda), bending (four Nganda genotypes from Uganda) and local coffee trees of unknown origin, both erect and bending (56 genotypes). From the collection of 72 genotypes, six clones were identified for extension in 1995.

### The Americas

Following the introduction of several types of *C. canephora*, it is the Conilon variety (deformation of Kouillou) that has remained

popular in Brazil (Bragança *et al.*, 1993). However, only one mass selection operation had been carried out by 1980. Since then, three clonal varieties made up of mixtures have been bred: one is early in the year, one late and the other intermediate.

### Conclusion

Over the years, the *C. canephora* breeding centres have moved, from Indonesia at the turn of the century, then the current Democratic Republic of the Congo (DRC) (ex-Belgian Congo) and Uganda until the 1960s, then Madagascar, the Central African Republic and Côte d'Ivoire in the 1960s-1970s. These were the only countries that carried out creative breeding. Only Côte d'Ivoire made any significant progress with respect to clonal hybrids. The programmes in these countries successively fed off each other. The varieties bred by the different programmes were the only sources for adaptive breeding in most producing countries, and many countries consequently only have a very limited genetic base for *C. canephora* breeding.

The progress made in terms of yields is rarely discussed in any detail. In Indonesia, breeding has apparently led to a 50% gain (Cramer, 1957). In DRC, yields have apparently increased from 250 to 1 000 kg of merchantable coffee per hectare in just over 25 years (Capot, 1962). In Côte d'Ivoire, in 1977, the yield increment attributed to breeding was put at around 110% for clones, 60% for seedlings produced from hybrid combinations and 30% for seedlings produced by open pollination of mother-trees with a good GCA (Capot, 1977). On average, the increase in bean size can be put at 50%.

The two Congolese sub-groups have been widely used in the different breeding programmes. Sub-group 2 is primarily represented by trees described as "Robusta" or "Ugandae". "Quillou" or "Kouillou" trees probably correspond to Congolese sub-group 1, although there may be some confusion here with the Guinean group if they come from Guinea or Côte d'Ivoire; this case has only been mentioned once in Uganda (Millot, 1969), where a single "Côte d'Ivoire Quillou" was introduced. In DRC, through "Robusta" and "Petit Kwilu", it is obviously crosses between the two Congolese sub-groups that are used. In Brazil, "Conilon" is also probably made up of intercrosses between trees from Congolese sub-groups 1 and 2. In fact, there is some shape segregation between the seedlings (personal observation). Moreover, an origin in the very late sub-group 1 ("Kouillou") alone would almost certainly have prevented such easy breeding of early to late clones in the country.

IFCC = Institut Français du Café et du Cacao, now part of the Tree Crops Department of the Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD-CP).



The Guinean group is therefore largely absent from the history of *C. canephora* breeding.

### Use of the Guinean group in Côte d'Ivoire

International exchanges of cultivated varieties in the first half of this century enabled Côte d'Ivoire, like most producing countries, to introduce a range of varieties representative of origins from central Africa and from the zone stretching from Benin to Gabon (Berthaud, 1986a). However, Côte d'Ivoire is one of the few countries (along with Guinea) to have local Guinean type varieties or populations. In fact, they are only found wild in the Côte d'Ivoire-Guinea region and were not introduced from other countries. As a result, natural genetic exchanges between the Guinean and Congolese groups have been possible in Ivorian smallholdings and semi-commercial plantations since the start of *C. canephora* cultivation. This contact has been confirmed and quantified by electrophoresis studies (Montagnon *et al.*, 1993).

At the start of the 1980s, it was observed that the most productive trees chosen in the 1960s as ortets were mostly wild between-group hybrids collected from Ivorian plantations. It was therefore suggested that there might be group heterosis (or hybrid vigour) between the Guinean and Congolese groups, and this naturally led to a proposal to apply an improvement scheme based on exploiting this group heterosis: reciprocal recurrent selection (Berthaud, 1986b).

### Reciprocal recurrent selection (RRS)

Group heterosis was first checked on a large scale (Leroy *et al.*, 1993). The scheme chosen in the end (Leroy, 1993) is as follows (figure):

- two basic (or initial) populations are made up: a Guinean population (G0) and a Congolese population (C0). There are around 100 individuals (= parents) in each population;
- in each G0 and C0 population, two individuals are identified as testers;
- all the parents in the Guinean basic population are crossed with the two Congolese testers; reciprocally, all the parents in the Congolese basic population are crossed with the two Guinean testers;
- this leads to 400 crosses: 100 G0 parents x 2 Congolese testers + 100 C0 parents x 2 Guinean testers;
- progeny trials serve to identify the best crosses. The 100 G0 parents in the Guinean basic population can therefore be classed in increasing order of the performance of their progeny. This classification gives a precise idea of the value of the parent, since the Congolese testers are the same for all the G0

parents. Reciprocally, the same classification is drawn up for the parents in population C0;

- the best ten parents from the basic populations are identified using the above classification;
- the between-group test phase is now completed. The best ten parents from each of the two groups are crossed with each other (within-group). This amounts to 55 crosses per group, enabling the creation of some 2 000 plants per group. The new plants are tested in trials. The best 100 are chosen from each group to make up the Guinean (G1) and Congolese (C1) basic populations for the second cycle. Populations G1 and C1 are said to be improved, as they were obtained from the best parents (based on the between-group test) in populations G0 et C0.
- a new cycle based on the first is begun, and so on.

Selection is therefore recurrent, since it consists of continuous successive cycles, and reciprocal, since each group is improved with respect to the other. During each RRS cycle, varietal outputs are possible by identifying the best hybrids and/or best ortets in the between-group progeny evaluation trials. However, the chances of breeding superior varieties can be increased by producing a new complete factorial grid of the crosses at the end of each between-group trial, including only the best parents from each group.

### Results obtained

A *C. canephora* breeding cycle takes 25 to 30 years. Consequently, the first varietal outputs due to RRS will not be until 2015, but preliminary results are available.

Since 1985, almost 2 000 controlled crosses have been carried out, the first-cycle between-group trials have all been planted and most have been evaluated. Almost 200 very high-yielding clones have already been identified and are currently being compared in clonal trials. The genetic gain provided by these clones is estimated at 30% in relation to the best clone currently on the market (Leroy *et al.*, 1997). Around ten between-group hybrid progenies have already proved superior to this best commercial clone, producing up to 40% more (Leroy *et al.*, 1997).

The production potential of these between-group hybrid progenies produced by reciprocal recurrent selection is therefore almost double that of the best hybrids from the 1970s (Capot, 1977).

These extremely important results suggest that it may be possible to distribute varieties as good as clones in seed form. The large number of progenies and clones bred for productivity opens the way for breeding for other purposes.

In particular, the increase in bean size should be speeded up, and varieties with a bushy, branched architecture that improve the harvesting index are being studied.

Since the start of the 1990s, particular attention has been paid to coffee quality, with encouraging results (Moschetto *et al.*, 1996).

### Conclusion

From its beginnings in Indonesia at the turn of the century, breeding moved to central Africa, Uganda and, above all, to the current Democratic Republic of the Congo in the middle of the century. In the 1960s and 1970s, it was centred in West Africa and Madagascar. Lastly, only Côte d'Ivoire is currently conducting a major breeding programme.

There has therefore never been a sustained effort to improve the species over more than 30 years. This time lapse corresponds to one, or at most two breeding cycles. This suggests that most of the varieties distributed today are still similar to wild trees. There is therefore still a wide margin for genetic improvement, as shown by the results obtained in Côte d'Ivoire.

There are several specificities in the history of *C. canephora* to account for the lack of truly sustained programmes:

- the absence of major phytopathological constraints: in fact, the search for resistance to or tolerance of diseases with a severe economic impact is one of the main forces driving varietal improvement. Thus in *C. arabica*, leaf rust and Coffee Berry Disease (CBD) have stimulated varietal improvements. For cocoa, it is worth mentioning black pod;
- Robusta is essentially grown by smallholders, who are rarely structured. They have never put pressure on research centres to carry out varietal improvement;
- the increase in *C. canephora* yields stems above all from the increase in the areas planted (pioneer fronts); the very rich soils ensure high yields, even with barely selected varieties;
- lastly, until recently, there were no problems with transferring selected varieties from one country to another;
- it is also worth mentioning the political instability in some countries.

The issues have now changed. Pioneer fronts are a thing of the past. Varietal potential has become a determining factor in yields. Increasingly, here and there, grower groups and federations are being set up which sometimes part-fund research and expect results, particularly as regards varieties. Vascular wilt, which recently recurred in Uganda and Democratic Republic of the Congo, could stimulate varietal improvement.

Tomorrow's varieties have already been described in a previous article (Montagnon *et*

*al.*, 1998). They should have a high potential to produce quality coffee, whilst cutting input and labour costs and respecting the environment. It is likely that the most spectacular progress in future will be the distribution of seeds that produce as much as, if not more than the clones distributed as cuttings.

Lastly, new tools are or will shortly be available to aid *C. canephora* varietal improvement, primarily molecular markers and genetic transformation. However, conventional breeding, which is easy to implement, has far from used up its room for improvement and still

has a bright future, particularly through the use of the Guinean group. ■

### Résumé

Une revue des programmes d'amélioration variétale de *Coffea canephora* et de leur histoire dans le monde entier permet de constater le déplacement des pôles de sélection de l'Indonésie à l'Afrique centrale, puis de l'Afrique centrale à l'ensemble Madagascar-République centrafricaine-Côte d'Ivoire. Un éclairage particulier est donné au programme de sélection récurrence et réciproque de *C. canephora* en Côte d'Ivoire, qui utilise la vigueur hybride exprimée au niveau des croisements intergroupes entre Guinéens et Congolais.

### Abstract

A review of *Coffea canephora* programmes and their history worldwide reveals that breeding centres have moved from Indonesia to central Africa, then from central Africa to the Madagascar-Central African Republic-Côte d'Ivoire group. Particular emphasis is placed on the *C. canephora* reciprocal recurrent selection programme in Côte d'Ivoire, which uses the hybrid vigour expressed in between-group crosses between Guinean and Congolese trees.

### Resumen

Un examen de los programas de mejora varietal de *Coffea canephora* y de su historia en el mundo entero permite constatar el desplazamiento de los polos de selección desde Indonesia hasta África central, y luego desde África central a todo Madagascar-República Centroafricana-Côte d'Ivoire. Se le da un enfoque particular al programa de selección recurrenente y reciproca de *C. canephora* en Côte d'Ivoire, que utiliza el vigor híbrido expresado al nivel de los cruzamientos intergrupos entre Guineanos y Congolese.