NOTES ET DOCUMENTS

20

Plantes d'hier, d'aujourd'hui et de demain

Dossier de la mission connaissance et amélioration des plantes

CIRAD

Plantes d'hier, d'aujourd'hui et de demain

Dossier de la mission connaissance et amélioration des plantes

© CIRAD 1995

ISSN 1160-1795
ISBN 2-87614-192-2

La collection Notes et documents a pour objet essentiel l'information des agents du CIRAD. Sa diffusion est limitée.

Sommaire

La révolution doublement verte : quel engagement pour le sélectionneur ? 5

Les agrumes 11

L'ananas 15

L'arachide 19

Le bananier 23

Le cacaoyer 27

Le caféier 31

La canne à sucre 35

Le cocotier 39

Le cotonnier 43

Les eucalyptus 47

L'hévéa 51

Le maïs 55

Le palmier à huile 59

Le riz 63

Le sorgho 69

La révolution doublement verte : quel engagement pour le sélectionneur ?

La communauté internationale s'inquiète du grave fléchissement des gains de rendement et de production en agriculture tropicale pendant la dernière décennie. Cette inquiétude est d'autant plus forte que le fléchissement des taux de croissance est très lent (conférence du Caire).

Ces deux constatations amènent à prévoir un retour du déficit alimentaire à moyen terme, en Inde, en Chine, en Asie du Sud-Est, et même à court terme, en Afrique de l'Est et au Mexique.

D'autre part, la consommation interne des pays à fort taux de croissance industrielle, comme la Thaïlande, l'Indonésie, le Brésil, s'accélère, laissant prévoir un déficit en produits agro-industriels (bois d'œuvre, caoutchouc, huiles...) destinés à l'exportation et à la consommation nationale.

Pour redresser la tendance actuelle à la stagnation de la production agricole de la zone tropicale, il faut mobiliser des énergies et des moyens de recherche. La dynamique recherchée vise une révolution doublement verte, assurant progrès et durabilité dans le respect de l'écosystème planétaire.

Les termes du défi de la révolution doublement verte ont été identifiés en mai 1994 par un groupe d'experts réunis pour envisager la réforme du système international de la recherche agronomique, le groupe Conway.

Il s'agit d'obtenir des rendements plus élevés, aux coûts les plus bas possibles, avec le moindre dommage pour l'environnement. Il s'agit, dans le même temps, d'utiliser au mieux les ressources locales (physiques, biologiques, humaines), d'améliorer les conditions de vie des ménages ruraux, des plus pauvres en particulier, et de générer des revenus et des activités économiques locales. Cela doit être fait sur la base d'un développement durable.

Quelle peut être la contribution du sélectionneur du CIRAD ? La réunion du comité scientifique de la mission connaissance et amélioration des plantes (MICAP) qui s'est tenue le 18 novembre 1994 a donné lieu à une discussion sur ce thème. Pour appuyer ce débat, les chercheurs du CIRAD ont établi des fiches « Plantes d'hier, d'aujourd'hui et de demain », présentées dans ce document. Ils contribuent ainsi à l'action thématique programmée « La révolution doublement verte : objectifs, méthodes et modèles ».

L'état des lieux

Les grandes constantes de l'amélioration des plantes tropicales

Les plantes prises en considération dans cette étude sont de culture ancestrale, à l'exception de quelques-unes, comme le palmier à huile, l'hévéa, le caféier Robusta, dont la culture ne remonte qu'à un siècle environ. On peut citer les domestications du cotonnier, du maïs, du riz, qui remontent à plusieurs millénaires, la culture du cacaoyer et de l'ananas à l'époque précolombienne, des agrumes au Xe siècle...

L'amélioration génétique rationnelle n'est pratiquée que depuis un siècle environ, bien que l'on puisse déjà parler de programmes de sélection un peu plus tôt pour le cotonnier et les agrumes. Les « améliorateurs » ont hérité d'un monumental travail de sélection opéré au cours des temps par l'« agriculteur-sélectionneur ».

Toutes ces cultures ont connu à des périodes plus ou moins éloignées une très large dissémination qui a engendré une grande variabilité adaptative. Cette variabilité a déjà subi une certaine érosion, mais elle se maintient encore. On peut toujours l'exploiter en réalisant des prospections de variétés locales directement chez l'agriculteur, ce qui n'est plus possible pour de nombreuses plantes des pays tempérés.

On note aussi que l'amélioration génétique aboutit pour certaines cultures à une utilisation exclusive de variétés sélectionnées. C'est le cas par exemple du palmier à huile, de l'hévéa, du cotonnier. Mais pour d'autres plantes, les variétés locales sont encore largement exploitées, comme pour le caféier, le cacaoyer, le maïs... Et l'utilisation de variétés sélectionnées peut encore représenter l'exception ; ainsi moins de 10 % de la cocoteraie mondiale est installée avec des plants sélectionnés.

Enfin, certaines innovations ont permis de faire des progrès relativement rapides. Mais la majorité des sélectionneurs considère l'amélioration des plantes comme un processus continu.

Même lorsque les progrès sont spectaculaires, l'application de nouvelles méthodes ou l'adoption de nouvelles variétés par l'utilisateur nécessite un certain délai.

Les objectifs de sélection du CIRAD

Il est incontestable que le rendement a été jusqu'à maintenant l'objectif premier de l'amélioration.

La résistance et la tolérance aux parasites sont rapidement devenues des priorités. Cette prise en compte se situe généralement au début du siècle : la rouille du caféier en 1900, le *Phytophthora* sur ananas en 1914, sur agrumes en 1920, la cercosporiose du bananier en 1940, ainsi que le balai de sorcière du cacaoyer. La liste exhaustive serait longue. Il semble que cet objectif acquiert de plus en plus d'importance.

L'amélioration de la physiologie et de l'architecture des plantes a été entreprise un peu plus tard. On peut citer, parmi de nombreux exemples, les variétés de palmier à croissance en hauteur réduite, les variétés naines de riz et de caféier, les variétés de riz pluvial, etc.

La qualité est un critère qui a toujours été important pour les cultures commerciales ; notamment, la longueur de fibre pour le cotonnier, le goût et l'aspect pour les agrumes et les fruitiers.

Les ressources génétiques

Le potentiel d'amélioration des plantes se développe à partir de la variabilité intra et intervariétale. Le CIRAD a réalisé des études de polymorphisme par marquage biochimique et moléculaire sur de nombreuses espèces (riz, canne à sucre, sorgho, cotonnier, cacaoyer, hévéa...) afin de mieux connaître cette variabilité et sa répartition spatiale et variétale. Il participe à la conservation des ressources génétiques mondiales et possède des mandats internationaux pour plusieurs espèces.

Les méthodologies de la sélection

L'utilisation des schémas de sélection et des plans d'expérimentation les plus efficients est une exigence du métier. La mission biométrie du CIRAD assiste les sélectionneurs dans ce domaine que les progrès en informatique ont fortement contribué à faire évoluer.

L'innovation technologique

La réalisation des variétés hybrides et la maîtrise de la multiplication végétative, notamment chez les espèces ligneuses, ont constitué des étapes importantes pour l'amélioration des végétaux.

Les laboratoires du CIRAD préparent aujourd'hui les progrès de demain : cartographie des génomes, sélection assistée par marqueurs, multiplication végétative par culture *in vitro,* haploïdisation, transformation génétique...

Le développement

Dans le domaine des plantes commerciales, le CIRAD est associé depuis longtemps à des entreprises qui assurent la multiplication et la diffusion de ses variétés : cotonnier, hévéa, palmier à huile... Pour les cultures vivrières, la capacité de développement des variétés doit être améliorée.

Les propositions pour l'avenir

Le sélectionneur pourrait-il se mobiliser sur un nouvel objectif qui serait celui de la révolution doublement verte ? Il apparaît nettement que divers critères définissent cet objectif. La réponse doit être globale pour une bonne insertion dans l'agriculture, chaque critère ayant un poids faible par rapport à l'ensemble. Mais il convient d'adopter une démarche pratique et concrète et de déterminer les facteurs majeurs qui doivent être abordés dans une approche multifactorielle.

Obtenir des rendements plus élevés

Le problème du plafonnement des rendements n'est jamais signalé dans les fiches de présentation des plantes. Aucun sélectionneur ne doute de sa capacité à obtenir un progrès des rendements par voie génétique, cette amélioration pouvant être acquise de façon directe, par l'augmentation de la production, ou indirecte, par la lutte contre les facteurs nuisibles.

Il ne faut pas céder à la pression d'une certaine opinion, mais encore accroître les rendements des cultures tropicales : répondre aux besoins sans cesse croissants c'est réduire la pression sur les terres marginales peu productives et fragiles. Il faut rappeler que la notion de demande croissante est souvent oubliée dans les pays du Nord, dont l'agriculture, déjà

très intensifiée, satisfait aux besoins. Mais il faut évidemment que cette augmentation des rendements soit durable et sans coûts excessifs.

Réduire les coûts de production

L'ensemble des sélectionneurs considère qu'il y a beaucoup à gagner en substituant la lutte génétique contre les parasites à l'utilisation de produits chimiques coûteux.

Les tolérances variétales aux stress abiotiques — sécheresse, submersion, sols acides... — sont également porteuses d'un fort potentiel de réduction des coûts agricoles.

En revanche, il est admis que plus les cultures seront productives, plus il faudra restituer au sol les éléments exportés. D'ores et déjà, en Afrique, l'apport d'engrais est insuffisant pour conserver la fertilité des sols cultivés en coton. Seules quelques plantes particulièrement peu exigeantes, comme l'hévéa, n'entraînent pas de risques d'appauvrissement du sol.

Utiliser les ressources locales

Si les variétés locales constituent des éléments particulièrement intéressants parmi les ressources génétiques exploitables, elles représentent aussi une source de richesse qui n'échappe pas au sélectionneur.

Les cultivars locaux sont des apports précieux en création variétale dans le domaine des « grandes cultures » ; il faut aussi prendre en compte le très grand nombre de « petites espèces » dont le potentiel de développement est encore mal défini. Faut-il se limiter à l'amélioration de quelques grandes espèces ou s'investir sur une grande quantité de petites espèces ? Est-ce faire le bon choix que de reléguer au second plan la diversité des espèces existantes ? En fait, travailler sur une petite espèce ou sur une grande espèce entraîne un coût équivalent. Pour un financement identique, augmenter le nombre d'espèces revient à diminuer l'effort sur chacune d'entre elles. Les forestiers sont particulièrement sensibles à ce genre de considération : un grand nombre d'essences sont très peu travaillées, non en raison de leur manque d'intérêt mais faute de moyens.

Respecter l'environnement

La lutte génétique contre les parasites évite l'utilisation de molécules chimiques polluantes. Mais préserver l'environnement c'est également participer à la reconquête d'espaces dégradés ou à l'extension des cultures à des zones considérées comme marginales par la sélection de nouvelles variétés adaptées à des conditions de culture plus difficiles. On peut citer la résistance à la sécheresse pour le palmier à huile, l'hévéa, le riz et bien d'autres. La mise au point de systèmes culturaux respectueux de l'environnement relève d'actions pluridisciplinaires.

Les plantes transgéniques constituent un cas particulier. L'incidence de leur dissémination dans un milieu naturel tropical où subsistent encore de très nombreuses espèces sauvages apparentées doit être analysée.

Développer de façon viable et durable

Il est envisagé de mettre en place pour l'ensemble des cultures des variétés dont les caractères de résistance aux agresseurs, de type polygénique, sont stables dans le temps. Pour un maintien des peuplements à long terme, ces variétés doivent présenter des carac-

tères de résistance aux facteurs destructifs abiotiques, notamment au vent et à la sécheresse.

Développer de façon viable et durable c'est proposer des variétés de bonne stabilité dans le temps et dans l'espace compte tenu de la spécificité des conditions de l'agriculture tropicale, caractérisée par un milieu très hétérogène (ainsi les microhétérogénéités de terrain après brûlis).

Enfin, la durabilité c'est, de façon concrète et incontournable, assurer la fourniture constante de matériel végétal sélectionné à l'agriculteur.

Améliorer le niveau de vie des agriculteurs

Dans la prise en compte des contraintes particulières des agriculteurs, le sélectionneur se trouve confronté à une contradiction apparente. Il est souvent dit que les variétés à fournir aux petits planteurs doivent être plus rustiques, ce qui laisse entendre plus simples. En fait, elles sont génétiquement parlant plus sophistiquées, car elles nécessitent une grande efficacité en milieu pauvre alliée à des résistances aux stress et aux facteurs abiotiques de ce milieu que l'agriculteur ne contrôlera pas.

Ne doit-on pas s'orienter vers l'obtention de deux types de variétés : un type répondant à l'intensification avec intrants et un type moins exigeant, plus stable dans l'environnement.

On vise l'amélioration de plusieurs variétés adaptées aux pratiques culturales et aux capacités financières de l'utilisateur. On constate que de plus en plus d'agriculteurs recherchent l'intensification, mais que, compte tenu de la diversité des contextes agricoles, les réponses variétales doivent rester multiples.

En conclusion

Le sélectionneur répond déjà à la demande exprimée par les agriculteurs. Un nouvel arsenal méthodologique est en train de se mettre en place pour l'y aider.

La démarche du sélectionneur est un effort continu. Une rupture dans cette continuité peut remettre en question bien des acquis, mais surtout compromettre sa capacité à répondre à de nouveaux objectifs.

D'ores et déjà largement engagé, le sélectionneur d'aujourd'hui préférera certainement qu'on parle d'évolution plutôt que de révolution. Son intervention se situe obligatoirement dans la ligne de ce qui a déjà été entrepris, il y a parfois des siècles, par tous les agriculteurs et les chercheurs qui l'ont précédé.

Les agrumes

Le terme agrumes correspond à trois genres botaniques, *Citrus, Fortunella* et *Poncirus*. Ce sont des arbres de la famille des rutacées.

La grande majorité des agrumes est diploïde. Seuls quelques polyploïdes naturels sont connus, comme la lime de Tahiti. Les agrumes sont multipliés par voie clonale.

Leurs modes de reproduction sont très variés. Chez de nombreux cultivars on observe une polyembryonie qui entraîne une apomixie partielle. Les embryons surnuméraires, issus des cellules du nucelle, possèdent le même génotype que la plante maternelle.

Seules deux espèces (*C. medica* et *C. grandis*) ne présentent que des graines monoembryonnées. On trouve également chez certains cultivars des systèmes d'auto-incompatibilité gamétophytique et des stérilités gamétiques.

Les agrumes d'hier

Les agrumes sont originaires de l'Asie du Sud-Est, où leur domestication remonte à plusieurs millénaires. Le bassin méditerranéen constitue un centre de diversification secondaire important pour certaines espèces (orangers, mandariniers, citronniers). Le pomelo est la seule espèce dont l'origine n'est pas asiatique, puisqu'il est apparu dans la région caraïbe.

La diffusion des agrumes dans le monde s'est faite très lentement. Au XIIe siècle, les agrumes sont introduits dans le nord du bassin méditerranéen (limettier, bigaradier, citronnier). Des pratiques horticoles sophistiquées, comme le greffage, sont déjà maîtrisées.

Au XIVe siècle, les orangers et les mandariniers sont rapportés d'Asie par les navigateurs portugais.

A partir de la fin du XVe siècle, les agrumes sont introduits dans la région caraïbe et sur le continent américain.

Aux XVIIe et XVIIIe siècles, la mode est aux orangeries dans les grandes cours européennes. La culture en pot se développe avec la mise au point de substrats complexes. Les agrumes sont alors utilisés pour l'ornement et pour les parfums.

A la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle, les premiers vergers de type industriel sont plantés en Italie, en Espagne, en Afrique du Nord et en Amérique. Dans le bassin méditerranéen, les orangers, généralement francs de pied, sont obtenus par greffage sur marcottes de cédratiers et régression de celles-ci.

Dans les années 20, l'épidémie de *Phytophthora* entraîne l'adoption de la culture sur porte-greffe, généralement le bigaradier.

Dans les années 30, l'apparition de la maladie de la *tristeza* provoque des dégâts importants sur les associations oranger-bigaradier. Le bigaradier est alors remplacé par d'autres porte-greffe, en particulier *Poncirus trifoliata* et ses hybrides avec le genre *Citrus*.

Les années 50 voient se développer une agrumiculture moderne et performante avec la mise en place des premiers programmes d'assainissement du matériel végétal. De nombreuses maladies des agrumes sont en effet transmissibles par greffage. Il est donc nécessaire de réaliser une sélection sanitaire ou un assainissement des pieds mères des variétés propagées.

La première technique d'assainissement utilisée est la sélection de plants de semis d'origine nucellaire, les maladies des agrumes n'étant généralement pas transmissibles par la graine. Depuis 1970, cette technique est remplacée par la thermothérapie et le microgreffage de méristèmes.

La gamme des variétés cultivées dans la première moitié du XXe siècle se caractérise par un certain nombre de grands standards au sein desquels la variabilité est faible. Les porte-greffe les plus utilisés sont le bigaradier et le mandarinier Cléopâtre.

La sélection clonale sur mutations naturelles, méthode traditionnelle d'amélioration des agrumes, tend cependant à accroître la variabilité de chacun de ces standards, en particulier pour la précocité, le calibre et le rendement. Elle conduit à une diversification agro-pomologique forte, notamment pour les orangers, les clémentiniers et les citronniers.

Quelques mutants de coloration (naturels ou induits) sont également créés. Les pomelos rosés et rouges s'imposent rapidement sur le marché dans les années 70.

L'hybridation, quant à elle, est pratiquée dès la fin du XIXe siècle. Elle s'avère profitable pour les agrumes à petits fruits de type mandarine consommés en frais. Des hybrides interspécifiques entre pomelo et mandarinier sont créés (tangelo Nova, Orlando, Minneola). Quelques hybrides entre mandariniers se révèlent également intéressants.

Mais les plus grands progrès obtenus par recombinaison sexuée concernent les porte-greffe, avec la création et la sélection des hybrides intergénériques *Citrus* x *Poncirus* associant la résistance à la *tristeza* et des rendements élevés. Les citranges Troyer et Carrizo, hybrides *Poncirus* x orange, connaissent un développement considérable dans le monde entier.

Depuis les années 50, des travaux sur la polyploïdie sont menés pour améliorer les agrumes. Ils visent l'obtention de cultivars triploïdes aspermes à l'image de la lime de Tahiti, qui est un triploïde spontané. Des triploïdes sont recherchés à partir d'hybridations entre diploïdes et tétraploïdes spontanés ou dans la descendance de croisements entre diploïdes. Peu de cultivars commerciaux sont issus de ces programmes. On peut citer deux hybrides pamplemousse x pomelo : Melogold et Oroblanco.

Malgré la diversité des stratégies d'amélioration mises en œuvre, la diversification variétale repose encore largement sur la sélection clonale à partir de mutations somatiques fixées par multiplication végétative.

Les modes de reproduction des agrumes (polyembryonie, stérilité gamétique, incompatibilité gamétophytique...) constituent en effet un frein important à l'amélioration par voie sexuée. Il apparaît, de plus, que les caractéristiques d'espèces comme les orangers, les citronniers et les pomelos reposent sur des structures génétiques complexes à haut niveau d'hétérozygotie. Ces structures limitent considérablement les probabilités de succès de l'amélioration par voie sexuée.

Les agrumes d'aujourd'hui

Les agrumes sont cultivés dans le monde entier entre 40° de latitude N et de latitude S, ce qui correspond aux zones climatiques tempérées chaudes et tropicales. Les milieux de culture sont très diversifiés grâce à la gamme étendue des porte-greffe. La superficie plantée est évaluée à plus de 3 millions d'hectares. La majorité des plantations est de type industriel, mais il existe une petite production villageoise destinée à l'autoconsommation en Afrique et en Asie.

Les agrumes constituent la première production fruitière mondiale avec 83 millions de tonnes produites en 1993. Les oranges représentent 70 % de cette production. Près de 35 % de la production totale d'agrumes est destinée à la transformation. Les principaux pays producteurs sont le Brésil, les Etats-Unis et la Chine.

Les vergers sont de plus en plus établis avec du matériel végétal sain. Les rotations variétales peuvent être très rapides, comme en Espagne, grâce au surgreffage. Les traitements insecticides sont particulièrement importants dans les zones où sévissent des maladies transmissibles par insectes comme le *greening,* la *tristeza* et le *stubborn.*

Le premier critère de sélection est donc aujourd'hui la résistance aux maladies et aux ravageurs. Cette résistance est recherchée soit chez le porte-greffe soit chez le cultivar, en fonction du mode de transmission de la maladie.

Pour les porte-greffe, on vise la résistance aux *Phytophthora* sp., aux nématodes et à la *tristeza,* maladie virale particulièrement dommageable aux vergers. Aux Etats-Unis, la résistance au *blight,* maladie de dégénérescence, est également devenue un objectif prioritaire.

Pour les cultivars, la résistance au *greening,* au chancre citrique, au *mal secco* et à la cercosporiose est recherchée selon la région de culture.

D'autres objectifs sont également poursuivis : l'adaptation à différents types de sols et au froid pour les porte-greffe, la productivité et la qualité du fruit pour les cultivars. Les critères de sélection des cultivars diffèrent en fonction de la destination de la production. La transformation implique des variétés très productives avec une bonne teneur du fruit en jus et en sucres. Le commerce en frais privilégie les qualités organoleptiques (arôme, acidité...) et pomologiques (facilité d'épluchage, aspermie, coloration...) du produit.

Les méthodes conventionnelles de sélection des agrumes sont encore largement utilisées. Mais les récents développements des biotechnologies permettent, d'une part, d'accroître l'efficacité des ces programmes d'amélioration, d'autre part, d'explorer de nouvelles voies de création variétale.

Les premiers programmes de création variétale s'appuyant sur les biotechnologies sont mis en place au CIRAD en 1989. Ils concernent l'amélioration des porte-greffe (résistance aux maladies et adaptation aux conditions pédoclimatiques) ainsi que la diversification de la gamme des mandariniers (qualité du fruit et étalement de la période de production). Ils font appel à l'embryogenèse et à l'hybridation somatiques. Les premiers vitroplants hybrides somatiques intergénériques *Citrus* x *Fortunella* sont ainsi obtenus en 1994. D'autres combinaisons destinées à produire des cultivars ou des porte-greffe sont également mises en œuvre. Des mandariniers triploïdes spontanés sont obtenus par sauvetage *in vitro* d'embryons sélectionnés grâce à la cytométrie en flux.

Aux Etats-Unis, des porte-greffe issus d'hybridations somatiques sont en cours d'évaluation agronomique.

Cependant, les porte-greffe ou cultivars issus de ces nouveaux programmes ne sont pas encore utilisés en verger de production. La plupart des vergers sont plantés avec des variétés améliorées selon des méthodes classiques.

Les agrumes de demain

Une part importante du verger de demain sera plantée à haute densité sur des porte-greffe nanisants afin d'accélérer l'entrée en production, de réduire les coûts de récolte et de taille et d'augmenter les rendements.

La conquête ou le simple maintien des zones de production est un enjeu important compte tenu de l'accroissement des problèmes de salinité et des pressions phytosanitaires. Il apparaît indispensable d'apporter des solutions génétiques à ces contraintes. Les niveaux de traitements pesticides sont en effet devenus déraisonnables dans certaines régions.

Le développement des biotechnologies apportera des progrès importants dans ce domaine pour les années à venir.

Les recherches sont déjà bien avancées sur l'embryogenèse et la fusion somatiques chez les agrumes. Les premiers hybrides somatiques devraient être utilisés comme porte-greffe en vergers commerciaux dans un proche avenir.

Les travaux sur la cartographie du génome des agrumes commencent à apporter des informations précises sur la localisation des gènes d'intérêt agronomique, comme le gène d'immunité à la *tristeza*. Ils déboucheront sur la transgenèse, particulièrement intéressante pour les variétés dont la structure très hétérozygote ne permet pas d'envisager une amélioration par voie sexuée. Ces travaux ouvrent également la voie à une sélection assistée par marqueurs.

Enfin, la cytométrie en flux, développée récemment sur les agrumes, trouve une application directe dans l'évaluation des niveaux de ploïdie des plantules issues de semis ou de fusions somatiques. Le repérage rapide des polyploïdes grâce à cette technique permet d'envisager leur utilisation dans les programmes d'amélioration.

L'ensemble de ces techniques devrait aboutir à une exploitation plus large des ressources génétiques et de la polyploïdie chez les agrumes.

L'ananas

L'ananas, *Ananas comosus,* est une monocotylédone herbacée pérenne de la famille des broméliacées. Il est généralement autostérile et diploïde. Il se multiplie végétativement, par la couronne ou par l'intermédiaire de rejets de tige ou de bulbilles. La plante adulte se présente sous la forme d'une rosette d'environ 1,20 mètre de hauteur.

On distingue différents types morphologiques d'ananas cultivés, dont les plus importants sont : Cayenne lisse, Red Spanish, Queen, Pernambuco, Mordilona-Perolera. Cependant, les plantations destinées à l'exportation ou au marché international de la conserve sont presque exclusivement réalisées avec des clones de la variété Cayenne.

L'ananas d'hier

A l'état sauvage, les espèces du genre *Ananas* se rencontrent en touffes dispersées dans les forêts et clairières de la zone amazonienne.

Le centre de diversification et de domestication du genre se situe dans le bassin amazonien, entre le sud du Venezuela et le nord du Brésil. Cependant, diverses espèces étaient connues dans toute l'Amérique tropicale à l'arrivée des premiers navigateurs espagnols au XVe siècle. Les Indiens en utilisaient certaines pour leurs fruits (*A. comosus* et *A. bracteatus*) et d'autres pour leur fibre (*A. lucidus* et *A. ananassoides*).

Au XVIe siècle, grâce à l'ouverture des grandes voies maritimes, l'ananas connaît une diffusion rapide dans toute la zone tropicale. Il gagne l'Afrique, Madagascar, puis l'Asie. Moins de deux siècles après la découverte de l'Amérique, sa culture est attestée dans plusieurs pays comme la Guinée, Madagascar, l'Inde, les Philippines, l'Indonésie et la Chine.

Le début du XXe siècle marque un tournant dans le développement de la culture avec la mise au point des techniques industrielles de conserve qui permettent l'exportation de la production. L'ananas prend alors son essor aux îles Hawaii, en Asie (Malaisie, Philippines, Thaïlande), puis en Afrique de l'Ouest et du Centre. Les plantations de type industriel se développent dans ces régions.

Parallèlement à cet essor de l'industrie de la conserve se développent les exportations de fruits frais de la zone caraïbe vers l'Amérique du Nord. Mais ce n'est qu'en 1950, avec la maîtrise des transports réfrigérés intercontinentaux, que la production de fruits destinés à l'exportation en frais connaît une réelle progression. L'Afrique de l'Ouest commence à produire pour le marché européen, Taïwan et les Philippines pour le marché japonais, Hawaii pour l'Amérique du Nord.

Le marché international est dominé par la variété Cayenne lisse, dont le fruit convient aussi bien pour la conservation en tranches que pour l'exportation en frais. D'autres variétés, telles que Queen ou Perolera, ont une grande importance sur certains marchés locaux.

L'ananas, du fait de son mode de multiplication, est soumis depuis les débuts de sa domestication à une sélection massale. Ce type de sélection est toujours pratiqué et la plupart des variétés cultivées en sont issues. Cette sélection massale de clones présente cependant quelques inconvénients. Les caractères de résistance aux pathogènes et aux parasites sont parmi les plus difficiles à observer. On peut, en conséquence, sélectionner un matériel végétal qui se révélera sensible à une maladie jusqu'alors peu connue ou considérée comme secondaire.

En 1914, les premiers programmes d'hybridation du Cayenne lisse avec d'autres variétés ou espèces du genre *Ananas* démarrent à Hawaii. Ces programmes visent l'amélioration du Cayenne lisse pour la résistance aux maladies (*Phytophthora, wilt,* nématodes, taches noires), la qualité du fruit (teneur en vitamines, acidité, format) et la productivité. Ces travaux se poursuivent jusque dans les années 80. Cependant, le Cayenne lisse étant parfaitement adapté aux conditions écologiques locales, aucun hybride ne parvient à le surclasser.

En 1940, l'IFAC (Institut des fruits et agrumes coloniaux, actuellement département des productions fruitières et horticoles du CIRAD) sélectionne, parmi les populations de Cayenne lisse cultivées en Guinée, des clones pour la production de fruits frais exportés en Europe, dont le marché se développe dans les années 60. Les principales caractéristiques sélectionnées sont la productivité, la résistance aux maladies, le caractère lisse des feuilles et la qualité du fruit.

Le Cayenne lisse est cependant considéré comme « sophistiqué » en ce sens qu'il nécessite des investissements importants en engrais, en pesticides et en main-d'œuvre. Dans la plupart des pays producteurs, et en particulier dans ceux à faible niveau technique, il serait préférable de disposer de variétés plus rustiques.

C'est sur la base de ce constat qu'en 1978 l'IRFA (Institut de recherches sur les fruits et agrumes, devenu département des productions fruitières et horticoles du CIRAD) entreprend un programme d'amélioration du Cayenne lisse par hybridations contrôlées avec la variété Perolera en Côte d'Ivoire. Ce programme vise l'obtention de variétés mieux adaptées aux conditions de culture de l'Afrique de l'Ouest, et dont la productivité mais surtout la qualité seront accrues.

Les programmes d'hybridation souffrent de l'étroite base génétique sur laquelle ils sont bâtis. Des prospections de matériel génétique sont réalisées à partir de 1979 dans la zone de diversification de l'espèce, en particulier au Brésil, pays détenteur de la presque totalité des formes sauvages du genre *Ananas.* Elles s'intensifieront, par la suite, en collaboration avec le département des productions fruitières et horticoles du CIRAD.

L'ananas d'aujourd'hui

L'ananas est cultivé dans toute la zone tropicale humide entre 30° de latitude N et 33° de latitude S. On le trouve le plus souvent sur des sols bien drainés (sols sableux, gravillonnaires, volcaniques légers), dans des zones proches des débouchés maritimes pour l'exportation.

Les systèmes de culture sont très variés : des grandes unités de production de plusieurs milliers d'hectares aux petites plantations villageoises de moins de un hectare. La ten-

dance est cependant à l'intensification de la culture, ce qui, à terme, est susceptible de poser des problèmes de pollution dus à l'usage intensif de pesticides ou d'engrais.

La production mondiale d'ananas est de l'ordre de 11 millions de tonnes par an. L'Asie du Sud-Est en produit à elle seule plus de la moitié et le continent américain un peu plus du quart, l'Afrique et l'Océanie fournissent le quart restant.

Un seul type d'ananas, le Cayenne lisse, domine largement le marché mondial. Cependant, le marché national de certains gros producteurs repose sur d'autres variétés : Perola, Perolera et Spanish en Amérique latine, Queen en Asie...

L'amélioration de l'ananas est toujours fondée sur les méthodes classiques de sélection : sélection clonale et hybridation.

Les critères ont cependant évolué ces dernières années. La résistance aux maladies est toujours un objectif important : fusariose au Brésil, taches noires, *wilt* et nématodes dans toutes les zones de culture. Mais la diversification des produits proposés au consommateur est devenue une préoccupation nouvelle pour l'ananas frais.

Les programmes d'amélioration, lancés depuis le milieu des années 80, cherchent tous à exploiter la variabilité génétique en utilisant principalement des cultivars différents du Cayenne lisse comme le Spanish et le Queen en Malaisie, aux Philippines ou en Thaïlande, et aussi des formes et espèces sauvages issues de prospections.

Les accessions prospectées au Brésil de 1985 à 1994, en collaboration avec le CIRAD, sont en cours de multiplication et d'évaluation à la Martinique. Le matériel génétique collecté constitue une base potentielle pour les programmes futurs d'amélioration, tant pour les résistances aux aléas parasitaires que pour la diversification variétale.

A la Martinique, le CIRAD mène une importante phase de sélection d'hybrides. Certains pourraient s'implanter sur le marché européen de l'ananas frais ou dans l'industrie locale de la conserve.

Les hybrides, malgré les efforts relativement importants de certaines équipes de recherche, restent très peu utilisés dans les plantations. Ils sont absents en Afrique, où les plantations sont réalisées uniquement à partir de clones améliorés. Leur utilisation pourrait cependant connaître un certain développement dans les dix prochaines années.

Enfin, les techniques de culture *in vitro,* bien maîtrisées actuellement, sont peu exploitées en raison de leur coût. Elles sont, pour l'instant, limitées aux échanges internationaux de matériel végétal sain mais pourraient être utilisées pour développer de nouvelles variétés à forte valeur ajoutée.

L'ananas de demain

Le marché de l'ananas est en progression, en particulier pour le commerce en frais. Pour répondre à cette croissance, il devient nécessaire de disposer de variétés mieux adaptées aux différents contextes de la production et aux différents marchés, et de diversifier les types de fruits commercialisés.

L'avenir de l'amélioration de l'ananas repose largement sur la sauvegarde et sur l'exploitation de la biodiversité du genre *Ananas.* Ainsi, la prospection, la constitution de collections et l'évaluation des ressources génétiques restent des priorités. D'importants programmes, réalisés avec le CIRAD, sont déjà en place.

L'utilisation des biotechnologies, en particulier le transfert de gènes, est envisagée par plusieurs équipes de recherche. Elle pourrait permettre de créer plus rapidement des variétés résistantes aux parasites et aux prédateurs.

L'arachide

L'arachide, *Arachis hypogaea,* appartient à la famille des fabacées. C'est une plante herbacée, annuelle, caractérisée par le développement souterrain de ses fruits. Cette fructification unique est due à l'activité d'un méristème intercalaire responsable de la formation du gynophore qui entraîne les ovules sous terre.

On distingue plusieurs types botaniques : les types Virginia et Runner à ramification alternée et port rampant à érigé, et les types Valencia et Spanish à ramification séquentielle et port érigé.

L'arachide est un allotétraploïde. Son mode de reproduction est autogame.

L'arachide d'hier

Très certainement originaire des contreforts andins, le genre *Arachis* se retrouve dans cette région sur de nombreux types de sol, de 650 à 1450 mètres d'altitude et sous des régimes hydriques allant des conditions semi-arides jusqu'à plus de 2000 mm de pluie par an. L'adaptation du genre à ces conditions de milieu très contrastées révèle la variabilité génétique des espèces sauvages.

Les premières traces d'utilisation de la plante remontent à 1500 avant notre ère, au Pérou. Sa culture gagne l'ensemble du continent sud-américain. Elle est introduite en Afrique et en Inde à partir du XVIe siècle. Son introduction aux Etats-Unis serait d'origine africaine.

Les premières exportations commerciales d'arachide, du Sénégal vers la France, datent de 1840. C'est alors le début d'un important commerce mondial orienté très tôt vers l'huilerie en Europe et la consommation de bouche aux Etats-Unis.

Au Sénégal, les travaux de sélection débutent en 1920. Leur évolution permet de comprendre l'impact des contraintes du milieu, des techniques et du marché sur les choix variétaux du sélectionneur.

L'augmentation de la productivité apparaît d'emblée comme un objectif de l'amélioration. Les lignées sélectionnées à partir des populations locales ou des introductions sont de type tardif à port rampant.

Dès 1930, le développement de la culture mécanisée va conduire à la sélection de plantes au port érigé et à fructification groupée. Les premières hybridations entre lignées sont réalisées et permettent d'obtenir des variétés semi-tardives à port érigé qui remplacent très rapidement les variétés rampantes traditionnelles.

Dans les années 50, la sécheresse, qui sévit au nord du pays, et l'apparition d'une maladie virale grave, la rosette, obligent à une réorientation de la sélection vers des types hâtifs et résistants. On utilise alors les rétrocroisements pour introduire la résistance à la rosette dans des variétés sensibles présentant par ailleurs de bonnes qualités agronomiques.

A partir de 1970, la progression de la sécheresse conduit à l'adoption de variétés caractérisées par une réduction de la longueur du cycle. La sélection récurrente est alors utilisée. On obtient une gamme de variétés allant des types hâtifs dormants, pour le nord de la zone de culture, aux types à cycle demi-long, pour le sud.

Plus récemment, la récession du marché de l'huilerie et le souci de diversification conduisent à réorienter les recherches vers l'arachide de bouche.

L'arachide d'aujourd'hui

La production mondiale d'arachide a atteint 16 millions de tonnes de graines en 1992, en progression de 27 % depuis 1980. Cette production se répartit pour 68 % en Asie, 20 % en Afrique, 2,2 % aux Etats-Unis et 0,5 % en Amérique du Sud.

La plus grande part de la production (66 %) est utilisée en alimentation humaine — graines, beurre et huile —, le reste (34 %) exploité en alimentation animale. L'autoconsommation est très forte quels que soient les pays producteurs ; les exportations ne portent que sur 13 % de la production.

Au Sénégal, les travaux actuels de sélection sont axés sur un matériel adapté à la sécheresse et susceptible, en fonction des zones de culture, de produire quelles que soient les conditions climatiques ou encore de maintenir une forte productivité.

Pour ce faire, les techniques de sélection évoluent vers l'utilisation de méthodes générant une variabilité dans les populations étudiées — intercroisement et sélection récurrente — et vers le développement de techniques de criblage sophistiquées — tests physiologiques pour l'adaptation à la sécheresse, tests sérologiques pour l'aflatoxine et chromatographie HPLC pour la composition en acides gras.

La sélection se poursuit pour l'amélioration de la tolérance aux maladies fongiques (rouille, cercosporiose) et à la contamination par l'aflatoxine.

L'arachide de demain

Selon la FAO, l'économie mondiale des graines oléagineuses devrait continuer à se développer et atteindre une demande mondiale de 107 millions de tonnes pour les matières grasses et 71 millions de tonnes pour les farines oléagineuses en l'an 2000.

Dans la plupart des pays du Sud, la vocation industrielle de l'arachide pour l'huilerie évolue vers l'autoconsommation et le marché de bouche. Cette situation génère de nouveaux besoins en termes de nutrition (participation à la ration protéique, composition en acides gras) et de santé (aflatoxine).

Le développement de l'irrigation en zone tropicale induit une demande de variétés à fort potentiel de production, résistantes aux maladies et conformes aux normes technologiques du marché de l'arachide de bouche. Cette nouvelle orientation de la recherche rejoint les préoccupations de pays développés, comme les Etats-Unis ou Israël, et ouvre la voie à une coopération scientifique du CIRAD avec les laboratoires impliqués.

Plusieurs méthodes d'amélioration sont explorées dans le monde. Leur mise en œuvre devrait aboutir à une production de meilleure qualité et à une réduction des besoins en pesticides.

Les hybridations interspécifiques de variétés cultivées et d'arachides sauvages sont envisagées pour les résistances oligogéniques (maladies et nématodes). Cette méthode est associée au marquage génétique, qui permet de suivre les flux géniques.

La transformation génétique est étudiée pour la résistance à la sécheresse et à *Aspergillus flavus* (grâce à un vecteur bactérien).

Le bananier

Le bananier est une monocotylédone herbacée de la famille des musacées. Il est naturellement annuel mais peut faire l'objet d'une culture semi-pérenne.

Le bananier est une plante de milieux ouverts (lisières et clairières forestières) des régions tropicales humides. Les bananiers sauvages sont diploïdes et se reproduisent par voie sexuée.

Les bananiers cultivés sont des polyploïdes (diploïdes, triploïdes, tétraploïdes), hybrides naturels de deux espèces de *Musa : Musa acuminata* (génome A) et *Musa balbisiana* (génome B).

L'essentiel de la production repose sur des clones triploïdes stériles multipliés végétativement.

Le bananier d'hier

Le centre d'origine des bananiers se situe en Asie du Sud-Est (Philippines, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Indonésie), où on les trouve encore à l'état sauvage.

La domestication, très ancienne, porte sur des types mutants parthénocarpiques qui offrent l'avantage d'être aspermes. Ce caractère est dès les débuts de la domestication fortement sélectionné. Ces types parthénocarpiques diploïdes ont donné, par croisement spontané avec des diploïdes, des triploïdes stériles. En fonction des apports respectifs des génomes A et B au sein de ces triploïdes, on distingue différents groupes génomiques : AAA, AAB, ABB... Malgré ces différentes formules génomiques, les bananiers triploïdes présentent une diversité génétique réduite par rapport aux bananiers diploïdes.

A partir de leur centre d'origine, les bananiers migrent très tôt vers la péninsule indienne, l'Afrique de l'Est et les îles du Pacifique.

Ils se diversifient en sous-groupes : les bananes dessert AAA et AAB et les bananes à cuire ABB, en Asie, les bananes à bière et les bananes à cuire AAA, en Afrique de l'Est, les plantains, hybrides triploïdes AAB, en Afrique de l'Ouest.

Au XVIe siècle, les bananiers sont introduits en Amérique latine à partir de la côte ouest de l'Afrique et des Canaries.

Au XIXe siècle, les premières plantations de bananes dessert sont réalisées : en Amérique latine (Saint-Domingue, Cuba et Jamaïque), avec la variété Gros Michel, aux Canaries, avec la variété Petite Naine du sous-groupe Cavendish.

Ces plantations permettent d'approvisionner les marchés européen et nord-américain, qui progressent dès la fin du XIXe siècle. En 1915, l'Europe importe plus de 100 000 tonnes de bananes en provenance de la Jamaïque.

C'est à cette époque que se développe la culture de la banane dessert Gros Michel au Cameroun occidental. Dans la Caraïbe et en Amérique latine, la culture de la Gros Michel s'intensifie à partir de 1930. Aux Canaries, la variété Petite Naine de type Cavendish fait également l'objet d'une production intensive.

En 1940, la maladie de Panama, due à *Fusarium oxysporum,* apparaît sur la variété Gros Michel. Cette maladie est fatale pour les plantations et entraînera la disparition progressive de la culture de cette variété.

Les bananiers Cavendish sont naturellement résistants à la maladie et leur culture s'étend en Afrique (Guinée, Côte d'Ivoire, Cameroun) puis aux Antilles françaises.

A partir de 1960, on assiste à une reconversion variétale : toutes les bananeraies de Gros Michel sont replantées avec des cultivars du sous-groupe Cavendish. A partir de cette date, toutes les bananes d'exportation seront de type Cavendish.

Face à l'apparition de la maladie de Panama, les pays producteurs et les multinationales entreprennent des programmes d'amélioration de la Gros Michel pour la résistance — dès 1930 en Jamaïque et à partir de 1950 en Amérique latine, en particulier au Honduras. Ces programmes n'aboutissent pas.

Parallèlement à ces recherches, l'IFAC (Institut des fruits et agrumes coloniaux, actuellement département des productions fruitières et horticoles du CIRAD) met en œuvre un ensemble de techniques culturales adaptées aux variétés Cavendish, en Guinée, en Côte d'Ivoire, au Cameroun et aux Antilles françaises. Ces variétés offrent des possibilités d'intensification : dans certaines conditions, des rendements de 60 t/ha sont atteints.

Dans les années 80, une nouvelle cercosporiose fait son apparition sur les bananiers Cavendish, mais aussi sur les plantains. La lutte chimique est maîtrisée sur les Cavendish, mais les plantains, du fait de leur mode de production paysan, ne peuvent en bénéficier. La lutte contre cette maladie passe donc, pour ces derniers, par l'amélioration génétique. L'INIBAP (Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain) est créé, grâce à l'appui de l'IRFA (Institut de recherches sur les fruits et agrumes, devenu le département des productions fruitières et horticoles du CIRAD), par un groupe de donateurs, dont fait partie la France.

L'IRFA lance son programme d'amélioration génétique des plantains et autres bananiers dans les années 80. D'autres centres de recherche, en particulier ceux qui avaient acquis une certaine expérience dans l'amélioration de la Gros Michel, redéploient leurs programmes de sélection vers la résistance aux cercosporioses des bananiers dessert, mais aussi des bananiers de consommation locale (Brésil, Nigeria, Costa Rica...).

L'absence de diversité génétique et la stérilité des bananiers triploïdes cultivés est un facteur limitant de leur amélioration. Des prospections sont lancées dans les années 80 par l'IRFA et l'INIBAP dans l'aire d'origine des bananiers. Elles aboutissent, pour l'IRFA, à la constitution d'une collection de formes sauvages et cultivées de bananiers diploïdes qui seront à la base des futurs programmes d'amélioration. Cette collection, implantée en Guadeloupe, renferme 350 accessions identifiées et décrites du point de vue morphotaxonomique et moléculaire.

Le bananier d'aujourd'hui

Les bananiers sont actuellement cultivés dans toute la zone tropicale humide. La production mondiale est estimée à 70 millions de tonnes, dont seulement 10 millions sont exportés. La banane, et en particulier la banane à cuire, reste un produit largement autoconsommé et fait l'objet d'un commerce local dans la plupart des pays producteurs. L'Ouganda est le premier producteur de bananes avec 8 millions de tonnes, viennent ensuite le Brésil, l'Inde, l'Equateur et le Costa Rica.

Les plantations industrielles, situées principalement en Amérique latine, ne représentent que 10 à 15 % de la production mondiale de bananes. Ces plantations fournissent des bananes dessert de type Cavendish et atteignent des rendements moyens de 20 t/ha à plus de 40 t/ha.

La majorité des plantations de bananiers de consommation locale est de type traditionnel et repose sur des variétés de bananes à cuire ou de bananes à bière destinées au marché local. Les bananiers y sont souvent cultivés en association avec d'autres cultures.

L'amélioration des bananiers vise, en premier lieu, la résistance aux maladies (cercosporioses, diverses viroses), aux parasites (nématodes) et aux ravageurs (charançon) qui sévissent dans les plantations. La qualité du fruit, et en particulier la durée de vie verte, est également un critère important pour la banane dessert.

Deux stratégies d'amélioration, radicalement différentes, vont être développées.

L'une, fondée sur l'amélioration des triploïdes, est utilisée au Honduras, au Brésil et au Nigeria. Elle vise principalement la résistance aux cercosporioses et procède par croisements entre des triploïdes et des diploïdes sauvages ou améliorés résistants, selon le même schéma que celui utilisé pour conférer la résistance à la maladie de Panama à la variété Gros Michel. Les triploïdes utilisés doivent posséder une fertilité résiduelle, ce qui exclut les Cavendish, complétement stériles. Ces croisements aboutissent à une certaine impasse, puisqu'ils produisent des tétraploïdes fertiles qui présentent l'inconvénient d'avoir un cycle long et d'autres caractéristiques agronomiques défavorables. Des hybrides de plantains tétraploïdes d'un bon niveau de résistance à la cercosporiose noire sont cependant produits au Honduras. Ces hybrides, souvent atteints de viroses, ne sont pas exploitables aujourd'hui. Des procédures d'indexation sont développées par l'INIBAP en collaboration avec le département des productions fruitières et horticoles du CIRAD.

L'autre voie, fondée sur l'amélioration des diploïdes, est développée par l'IRFA à partir de 1982. Les diploïdes sont sélectionnés, au sein de la collection, sur la base de leurs caractéristiques communes avec les bananiers triploïdes cultivés et de leur résistance aux cercosporioses. Ces diploïdes peuvent être ensuite améliorés pour ces mêmes caractéristiques, puis, après doublement à la colchicine, croisés avec un autre diploïde pour redonner des hybrides triploïdes. C'est ainsi qu'en 1994 les premières variétés hybrides triploïdes, résistantes aux cercosporioses, de bananiers dessert et à cuire sont créées. Elles entrent en phase de validation.

Les bananiers dessert obtenus par cette méthode produisent des bananes différentes des bananes Cavendish. Le marché de ce nouveau type de banane devrait se développer.

Parallèlement à ce programme d'amélioration conventionnelle, des travaux sur les biotechnologies sont menés dans le but d'améliorer les Cavendish, mais aussi les autres bananiers. Les études sont déjà très avancées sur l'embryogenèse somatique, la culture de protoplastes et les techniques de transformation.

Enfin, la production de vitroplants est maîtrisée chez le bananier. Le marché est estimé à 50 millions de vitroplants par an. Vitropic, filiale du CIRAD, a une capacité de production de 1 million de vitroplants par an.

Les variétés hybrides, en cours de validation, ne sont pas encore utilisées par les planteurs, mais des sélections font l'objet d'un développement.

Le bananier de demain

L'amélioration des bananiers restera largement tributaire des ressources génétiques collectées et conservées *in vivo* dans le cadre du CIRAD, en Guadeloupe, et *in vitro* au sein de l'INIBAP, à l'échelle internationale. Les nouvelles technologies permettront d'exploiter ces ressources plus efficacement.

On peut penser que la transformation génétique sera utilisée très prochainement pour introduire chez les Cavendish des gènes de résistance aux maladies et aux ravageurs. La cartographie du génome du bananier permettra le repérage et l'isolement des gènes impliqués dans ces résistances. Ces recherches se poursuivent au CIRAD. La transformation génétique, associée à l'embryogenèse somatique et/ou à la culture de protoplastes, permettra de créer de nouvelles variétés, transgéniques, en particulier pour les bananiers stériles.

L'ensemble de ces innovations débouchera sur une diversification des bananes proposées au consommateur et sur une production bananière de qualité respectueuse de l'environnement.

Le cacaoyer

Le cacaoyer, *Theobroma cacao,* est un arbre de la famille des sterculiacées. Sa croissance est dimorphe : orthotrope et plagiotrope. Il devient productif entre 3 et 4 ans. Sa taille peut atteindre 12 mètres, mais ne dépasse pas 6 mètres en plantation.

Le cacaoyer est diploïde et renferme des génotypes auto-incompatibles et autocompatibles. Trois groupes génétiques sont distingués.

Le groupe des Criollo provient d'Amérique centrale et du Mexique. Il se caractérise par des cotylédons de couleur blanche et fournit un cacao fin à « casse claire ».

Le groupe des Forastero (bas et haut-amazonien) est très diversifié. Il se rencontre à l'état sauvage en Haute-Amazonie (Pérou, Equateur, Colombie), dans le bassin amazonien (Brésil), dans les Guyanes et au Venezuela, le long du fleuve Orénoque. Il forme de petits peuplements dispersés, principalement dans des zones inondées. Les Forastero se distinguent par des cotylédons de couleur pourpre foncé qui donnent un cacao « courant » de qualité moyenne.

Le groupe des Trinitario, très diversifié et très hétérogène, est issu d'hybridations entre Criollo et Forastero. Il produit un cacao de qualité intermédiaire entre les deux groupes précédents.

Le cacaoyer d'hier

La domestication du cacaoyer remonte à l'époque précolombienne, où les Criollo sont cultivés par les Indiens d'Amérique centrale. Les fèves de cacao sont utilisées pour la préparation de boissons, mais également comme monnaie d'échange.

A la fin du XVIe siècle, l'usage du chocolat se répand en Europe, avec pour conséquence une extension de la culture des Criollo vers l'Amérique du Sud, les Antilles, puis les autres continents. Les Trinitario sont découverts à Trinidad, d'où ils sont diffusés vers d'autres pays.

Au XIXe siècle, les Forastero et les Trinitario, qui produisent 0,4 à 1 t/ha de cacao, remplacent progressivement les Criollo, qui s'avèrent très sensibles aux aléas parasitaires et manquent d'adaptabilité. Les Forastero bas-amazoniens, notamment la variété Amelonado, sont introduits en Afrique de l'Est.

Au XXe siècle, la sélection de clones de type Trinitario multipliés par bouturage débute à Trinidad, en Amérique centrale et en Indonésie. Les rendements sont de l'ordre de 1 à 1,5 t/ha.

En 1940, face à l'apparition de la maladie du balai de sorcière en Amérique, on réalise des prospections de Forastero haut-amazoniens au Pérou et en Equateur afin d'identifier des génotypes résistants. Peu après, on met en évidence la vigueur, la précocité et la productivité (1 à 2 t/ha) des hybrides entre les Forastero haut-amazoniens et les autres groupes génétiques.

A partir de 1950, une sélection massale de clones est effectuée au Cameroun par l'IRCC (Institut de recherches du café, du cacao et autres plantes stimulantes, maintenant intégré au département des cultures pérennes du CIRAD), mais la diffusion de boutures reste un échec du fait de problèmes racinaires.

Des variétés hybrides entre clones introduits et locaux sont alors créées dans presque tous les pays producteurs. Elles impliquent des génotypes haut-amazoniens, bas-amazoniens et Trinitario. Leur rendement est de 2 à 3 t/ha. L'IRCC participe à la création et à la vulgarisation d'hybrides de clones en Côte d'Ivoire, au Cameroun et au Togo à partir des années 60. Les limites de cette méthode commencent à apparaître. Le progrès génétique est de plus en plus faible pour la productivité et insuffisant pour la résistance aux maladies et la qualité. Les mélanges d'hybrides vulgarisés se révèlent souvent très hétérogènes du point de vue agronomique.

Le cacaoyer d'aujourd'hui

Le cacaoyer est cultivé dans les zones tropicales humides sur 5 millions d'hectares, dont 60 % en Afrique, 20 % en Asie et 20 % en Amérique. Les principaux pays producteurs sont la Côte d'Ivoire, le Brésil, le Ghana, la Malaisie, le Cameroun et le Nigeria. Les petites plantations prédominent. Leur durée de vie est de vingt-cinq à quarante ans.

Les Forastero fournissent la presque totalité des cacaos courants provenant du Brésil, de l'Afrique de l'Ouest et de l'Asie du Sud-Est.

La production annuelle de cacao s'élève à 2,5 millions de tonnes. La valeur du produit non transformé est d'environ 3 milliards de dollars.

La plupart des pays producteurs disposent d'un centre de recherche qui mène des programmes de sélection. Les critères en sont la vigueur, la précocité, la productivité, la grosseur et la qualité des fèves et la résistance aux maladies et aux insectes.

La principale méthode d'amélioration reste l'évaluation d'hybrides entre clones peu sélectionnés, voire sauvages. Entre 25 et 50 % des plantations sont réalisées avec ces variétés hybrides. Leur production moyenne, en culture extensive pour la plupart des pays, varie de 0,3 à 0,8 t/ha et atteint en station 2 à 2,5 t/ha, voire 3 t/ha pour les meilleurs clones testés.

De nouvelles voies d'amélioration sont mises en œuvre depuis les années 80, entre autres, l'hybridation entre haploïdes doublés et la sélection récurrente en Côte d'Ivoire, la sélection clonale par greffage plagiotrope en Malaisie et la sélection massale de populations traditionnelles en Amérique.

Des recherches sur la diversité génétique de l'espèce à l'aide de marqueurs (izoenzymes, RFLP, RAPD) et la cartographie de son génome sont en cours dans plusieurs centres de recherche. Dans ce domaine, le CIRAD bénéficie d'une avance certaine par rapport aux autres centres.

La micropropagation, difficile chez cette plante, fait l'objet d'études. L'embryogenèse somatique permettrait de multiplier des clones et d'obtenir des plantes orthotropes.

A l'heure actuelle, le cacaoyer est encore une culture extensive. La révolution verte reste à faire.

Le cacaoyer de demain

Le défi majeur de l'amélioration du cacaoyer demeure la résistance aux aléas parasitaires : ravageurs (mirides, *pod borer*), maladies (pourriture brune, balai de sorcière, moniliose) et virus *(swollen shoot).* Le maintien d'une plantation nécessite des traitements phytosanitaires coûteux pour lutter contre les déprédateurs et les maladies.

Les nouvelles méthodes (sélection clonale, sélection récurrente) et les nouveaux outils (micropropagation, sélection assistée par marqueurs, transformation génétique) devraient dans l'avenir fournir une réponse à ces problèmes.

La revalorisation et l'amélioration génétique des populations traditionnelles de Criollo, Nacional et Trinitario sont également à l'ordre du jour pour répondre à la demande de cacaos de très bonne qualité.

Enfin, la caractérisation et l'évaluation du matériel végétal disponible dans les collections internationales (Trinidad, Costa Rica) permettraient une meilleure gestion de la variabilité génétique dans les programmes d'amélioration et l'identification de géniteurs résistants ou de qualité exceptionnelle. Des études approfondies pourraient être envisagées dans le cadre d'un réseau international d'évaluation du matériel génétique.

Le caféier

Le caféier est un arbuste de la famille des rubiacées. Il mesure 4 à 8 mètres de hauteur et possède des tiges orthotropes et des branches plagiotropes. Son cycle de vie est de trois ans. Deux espèces sont cultivées : *Coffea arabica,* allotétraploïde et autogame, dont les variétés sont des lignées multipliées par semences et *Coffea canephora,* diploïde et allogame, multipliée par semences ou par voie clonale.

Le caféier d'hier

L'espèce *C. arabica* est originaire du sud-ouest de l'Ethiopie, du sud du Soudan et du nord du Kenya, où on la trouve encore à l'état sauvage dans les sous-bois des forêts d'altitude (1 300 à 2 000 mètres).

Sa domestication au Yémen remonte au XIVe siècle. Au XVIIIe siècle, le café devient une boisson populaire en Europe. La culture de *C. arabica* est alors introduite en Asie (Inde, Indonésie), en Amérique et en Afrique de l'Est à partir d'un très petit nombre d'individus.

Au XIXe siècle, les variétés cultivées atteignent un potentiel de production de 0,3 à 0,8 t/ha (Typica) et de 0,6 à 1,2 t/ha (Bourbon). La caféiculture prend son essor en Amérique. A la fin du XIXe siècle, l'apparition de la rouille orangée en Asie et dans les plantations d'Afrique de l'Est entraîne une baisse de productivité de l'ordre de 30 à 50 %. Les zones de moyenne et de basse altitude sont les plus touchées car le parasite y trouve des conditions écologiques favorables à son développement. Le continent américain échappe à cette maladie jusqu'en 1970, et la caféiculture de *C. arabica* y poursuit son expansion.

Au début du XXe siècle, dans les pays touchés par la rouille orangée, on commence à mettre en culture d'autres espèces de caféier résistantes à la maladie et adaptées aux régions de basse altitude. La variété Robusta de l'espèce *C. canephora,* spontanée dans les forêts des vallées d'Afrique du Centre, s'impose rapidement grâce à sa rusticité et à sa productivité — jusqu'à 1,5 t/ha — en Asie (Indonésie, Inde) et en Afrique (Côte d'Ivoire, Cameroun, Zaïre, Angola).

Parallèlement au développement de la culture de *C. canephora,* les premières tentatives de sélection de lignées de *C. arabica* résistantes à la rouille sont réalisées. Elles ne donnent pas de résultats satisfaisants du fait de l'apparition de nouvelles races du pathogène. Elles seront reprises ultérieurement à partir d'hybridations interspécifiques avec l'espèce *C. canephora.*

A partir de 1930, on trouve en Amérique des variétés mutantes naines adaptées aux conditions intensives de culture mais plus exigeantes en éléments nutritifs. Leur potentiel de rendement est de 1,5 à 2 t/ha dans de bonnes conditions de culture. Ces variétés sont

à l'origine de la caféiculture à haute densité qui se développe à partir des années 60 en Amérique centrale, avant de s'étendre à d'autres zones.

La sélection de variétés hybrides et de clones de *C. canephora* débute en Indonésie dès sa mise en culture et en Afrique dans les années 50. La sélection en Afrique aboutit à des variétés ayant un bon rendement (1 à 2,5 t/ha). Multipliées par bouturage, elles sont diffusées en Côte d'Ivoire, au Cameroun, au Togo et à Madagascar.

Le caféier a réalisé des progrès considérables depuis sa domestication en termes de productivité et d'adaptation aux contraintes, parasitaires entre autres, du milieu. Cependant, la faible diversité génétique des caféiers cultivés limite les possibilités d'amélioration, en particulier pour *C. arabica.* Les centres de recherche ressentent la nécessité de constituer des collections de caféiers sauvages et cultivés. Les prospections et la mise en place de collections vivantes commencent dès les années 40 pour *C. arabica,* au Costa Rica, et dans les années 60 pour *C. canephora,* en Côte d'Ivoire.

Le caféier d'aujourd'hui

Le caféier *C. arabica* est cultivé en zone tropicale humide d'altitude, principalement en Amérique (80 %), mais aussi en Afrique de l'Est et en Asie. Il couvre 7 millions d'hectares. Son mode d'exploitation est assez intensif en Amérique et en Afrique de l'Est, où l'on rencontre à la fois de petites et de grandes exploitations.

Le caféier *C. canephora* se trouve sur 3 millions d'hectares dans les régions tropicales de basse altitude, au Brésil, en Afrique de l'Ouest et en Asie. Sa culture, extensive, est dominée par les petits planteurs.

Le marché du café, premier produit agricole d'exportation, s'élève à 10 milliards de dollars, dont 75 % pour l'Arabica et 25 % pour le Robusta.

Les grands objectifs de l'amélioration de *C. arabica* sont toujours la productivité et la résistance aux aléas parasitaires qui sévissent dans l'ensemble de la zone de culture : rouille orangée, nématodes, anthracnose des baies, mineuse des feuilles, scolyte des baies. La qualité du produit est devenu un critère important — diminution de la richesse en caféine et amélioration de l'arôme pour le Robusta, maintien de la qualité des variétés traditionnellement cultivées pour l'Arabica. Enfin, la mécanisation de la récolte requiert des plantes au port nain.

Pour le caféier *C. canephora,* l'amélioration de la qualité du produit passe par des croisements avec *C. arabica.* Ce programme, commencé en 1970 par l'IRCC (Institut de recherches du café, du cacao et autres plantes stimulantes, maintenant intégré au département des cultures pérennes du CIRAD), aboutit à la création de l'hybride interspécifique Arabusta. Malgré les bons résultats obtenus quant à la qualité du produit, ce programme est abandonné en 1985 du fait des mauvaises performances agronomiques de l'hybride (0,4 à 0,8 t/ha). En 1984, on s'oriente vers la sélection récurrente réciproque à partir des types Guinéen et Congolais. Les progrès sont importants pour la productivité (2 à 2,5 t/ha), mais faibles pour la granulométrie et la qualité aromatique.

Pour *C. arabica,* les variétés sont des lignées homozygotes, stables et multipliées par semences. Les hybridations intra et interspécifiques sont donc fixées par plusieurs cycles d'autofécondation ou de rétrocroisement par un des parents. Les variétés Catimor (Amérique centrale, Colombie) et Icatu (Brésil) sont créées selon cette méthode. Elles sont vulgarisées dans ces pays à partir de 1985 (Catimor) et 1992 (Icatu). Leur rendement est de l'ordre de 2 à 3 t/ha. La variété Java, résistante à l'anthracnose des baies, est sélec-

tionnée au Cameroun par l'IRCC. Elle atteint des rendements de 1,5 à 2 t/ha. A partir des années 80, les hybrides F1 entre lignées sauvages et cultivées sont exploités au Cameroun et en Amérique centrale par l'IRCC. Au Kenya, la variété Ruiru 11, mélange d'hybrides F1 hétérogène, est vulgarisée à partir de 1985; sa multiplication, réalisée par pollinisation manuelle, reste cependant un problème.

Toutes ces méthodes reposent sur l'exploitation d'un large potentiel génétique. La prospection de plantes sauvages, le maintien et l'évaluation des collections demeurent une priorité pour tous les centres de recherche sur le café.

Dans les années 70, les nouvelles technologies se développent. Les recherches sur les biotechnologies débutent pour le caféier avec le microbouturage et l'embryogenèse somatique, qui sont mis au point et améliorés à partir de cette époque. Les études sur la transformation génétique et la cartographie du génome à l'aide de marqueurs RFLP sont en cours.

Pour *C. arabica,* l'utilisation des variétés sélectionnées est générale, qu'elles soient traditionnelles ou modernes et productives. Cependant les rendements en plantation sont encore très variables : de 20 à 100 % du rendement obtenu en station. Les variétés résistantes sont dans l'ensemble encore peu cultivées.

Le bilan est nettement moins favorable pour *C. canephora,* puisque seulement 5 à 15 % des plantations sont réalisées avec des variétés sélectionnées. Leur production moyenne est, dans le meilleur des cas, égale à 30 % de celle obtenue en station.

La situation est donc contrastée. Si pour *C. arabica,* les variétés améliorées à haut potentiel de production sont déjà bien utilisées, il en va tout autrement de *C. canephora,* pour lequel des variétés à haut rendement existent mais sont peu exploitées du fait du contexte socio-économique de la culture. On peut en conclure que pour *C. arabica* la révolution verte est déjà bien entamée, mais qu'elle reste à faire pour *C. canephora.*

Le caféier de demain

La culture du caféier *C. arabica* est toujours soumise à une forte pression parasitaire. Les recherches s'orientent vers des variétés à résistances multiples grâce, entre autres, à l'exploitation des hybrides F1. Leur obtention implique l'hybridation entre géniteurs possédant des résistances complémentaires aux maladies et aux nématodes. L'hybridation permet également d'exploiter la vigueur hybride observée dans les croisements entre variétés cultivées et sauvages.

L'utilisation des techniques de culture *in vitro,* déjà amorcée en Afrique de l'Est et en Amérique centrale, permettra de multiplier rapidement ces variétés hybrides de *C. arabica.*

La découverte de géniteurs mâles stériles pourrait être exploitée à moyen terme pour la production de semences hybrides.

La transformation génétique devrait également jouer un rôle dans l'introduction de résistances aux insectes.

Le problème majeur du caféier *C. canephora* reste la qualité du produit. La sélection dans les descendances d'hybridation interspécifique avec *C. arabica* se poursuit. Elle devrait aboutir à des variétés de bonne qualité adaptées aux conditions de basse et de moyenne altitude.

La canne à sucre

La canne à sucre est une monocotylédone herbacée pérenne de la famille des poacées. Plusieurs espèces ont été cultivées : *Saccharum officinarum, S. barberi* et *S. sinense,* ces deux dernières espèces étant des hybrides interspécifiques naturels.

Les cannes cultivées actuellement, *Saccharum* spp., sont des hybrides interspécifiques récents entre *S. officinarum* et l'espèce sauvage *S. spontaneum.* Ce sont des aneuploïdes complexes à forte polyploïdie reproduits par voie végétative.

La canne à sucre d'hier

L'espèce *S. officinarum* est originaire d'Asie du Sud-Est. Sa domestication, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, serait antérieure à 2500 avant notre ère. A partir de ce centre de domestication, *S. officinarum* migre vers les îles du Pacifique sud, l'Inde et la Chine. Les espèces *S. barberi* et *S. sinense* seraient apparues, il y a trois millénaires, respectivement en Inde et en Chine. Elles résulteraient d'introgressions entre les clones de *S. officinarum* importés et des espèces locales apparentées comme *S. spontaneum.*

La diffusion de la culture de la canne depuis l'Inde vers l'ouest se situe au cours du premier millénaire de notre ère. Son introduction en Amérique, au XVIe siècle, s'effectue à partir d'un très petit nombre de clones, probablement de *S. barberi* ou d'un de ses hybrides avec *S. officinarum.*

Au milieu du XVIIIe siècle, les explorateurs européens rapportent des clones de *S. officinarum* du Pacifique sud. Leur culture se développe rapidement en Amérique du Sud et du Centre. Ces clones, en raison de leur richesse en sucre, sont appelés cannes « nobles ». Un de ces clones, le Bourbon, est cultivé dans le monde entier jusqu'au milieu du XIXe siècle. L'industrie du sucre de canne connaît alors un fort développement.

Les clones cultivés semblent tous stériles. En 1885, pour la première fois, des graines sont obtenues à la Barbade et à Java. A partir de la découverte de cette possibilité de reproduction sexuée, des programmes de création variétale sont mis en place. Au début du XXe siècle, il existe six stations de recherche sur la canne à sucre dans le monde.

Les sélectionneurs s'intéressent, dans un premier temps, aux croisements entre clones « nobles » de *S. officinarum.* Ces programmes rencontrent un certain succès et permettent des avancées notables pour la production de sucre.

Parallèlement à ces programmes d'hybridation intraspécifique, des travaux sont menés sur l'hybridation interspécifique entre clones « nobles » de *S. officinarum,* riches en sucre, et clones d'espèces apparentées, vigoureux ou résistants aux maladies. L'hybride

obtenu est ensuite recroisé avec un clone « noble » de façon à récupérer, après plusieurs cycles de recroisements, un phénotype cultivable. Cette méthode d'amélioration de la canne à sucre est appelée « nobilisation ».

C'est ainsi qu'à Java on crée des hybrides résistants à la maladie de Sereh, qui sévit alors dans l'île, par croisement avec un clone de *S. barberi* importé d'Inde. Ces hybrides sont cependant peu productifs et sensibles à la mosaïque, ce qui les rend inutilisables à Java. Toutefois, certains descendants de ce croisement sont cultivés à grande échelle dans d'autres régions et sont utilisés avec succès comme géniteurs, notamment en Inde.

Dans les années 20, on met en évidence à Java l'intérêt des croisements interspécifiques à partir d'un hybride spontané entre un clone de *S. officinarum* et un clone local de *S. spontaneum.* Parmi les descendants de cet hybride « nobilisé », un clone exceptionnel, POJ 2878, riche en sucre et résistant à la mosaïque et à la maladie de Sereh, est sélectionné. Très rapidement, la culture de ce clone se développe, à Java d'abord, où il couvre 90 % de la sole cannière dans les années 30, puis dans le monde entier. Ce clone est largement utilisé comme géniteur dans la plupart des stations de recherche.

En Inde, la sélection s'oriente également vers la création d'hybrides interspécifiques par « nobilisation ». Les premiers sont réalisés à partir du clone Bourbon et d'un clone local de *S. spontaneum.* Puis, l'utilisation des hybrides de *S. officinarum* et *S. barberi* produits à Java aboutit, par croisement avec les hybrides de *S. spontaneum* et *S. officinarum* locaux, au développement des hybrides tri-spécifiques.

Jusque dans les années 70, la création variétale repose uniquement sur ces premiers hybrides obtenus à Java et en Inde. Les variétés commerciales sont créées selon un schéma classique de sélection clonale dans la descendance de croisements entre clones commerciaux. Les hybrides modernes, issus de cette sélection, permettent de doubler les rendements de la canne à sucre.

Cette méthode de sélection atteint cependant ses limites. Dans les années 60, l'étroite base génétique sur laquelle elle se fonde ne permet plus de progrès notables.

Pour remédier à cette situation, des travaux de « nobilisation » reprennent dans plusieurs stations.

Du matériel sauvage appartenant aux genres *Erianthus* et *Miscanthus* est également utilisé pour créer des hybrides intergénériques et élargir la base génétique des clones cultivés.

La canne à sucre d'aujourd'hui

La canne à sucre est cultivée dans toute la zone tropicale et subtropicale. Les facteurs climatiques ont un effet dominant sur la production : l'eau et la chaleur pour la croissance, la sécheresse ou le froid pour la maturation. Cependant, dans les zones naturellement peu favorables, la canne à sucre peut faire l'objet d'une culture irriguée ou protégée.

La production mondiale s'élève à 73 millions de tonnes de sucre de canne. Les plus gros producteurs sont l'Inde, le Brésil et la Chine.

Les systèmes de production sont très variés : des grands complexes sucriers où la surface exploitée dépasse 10 000 hectares aux petites exploitations de 2 à 3 hectares.

Le principal critère de sélection est toujours la productivité en sucre des cannes vierges, c'est-à-dire issues de la plantation des boutures, mais surtout des repousses. L'exploitation de la canne peut s'étendre sur plus de dix repousses dans certaines régions. La résistance

aux maladies et l'adaptation à des conditions de culture particulières (gel, cyclone, sécheresse...) sont également recherchées.

L'amélioration reste fondée sur les méthodes classiques de sélection clonale avec la création d'hybrides entre clones commerciaux. Ces variétés actuelles ont des génomes de 100 à 130 chromosomes, dont 90 % provient de *S. officinarum* et 10 % de *S. spontaneum.* Mais on s'oriente de plus en plus vers l'élargissement de la base génétique qui seul permettra de réaliser des progrès. Différentes voies sont actuellement explorées.

Les recherches sur la variation somaclonale par culture de tissus, entreprise en 1977, n'ont pas abouti. En revanche, elles ont permis la mise en œuvre de schémas performants d'assainissement et de micropropagation rapide dans plusieurs régions (Guadeloupe, Louisiane, Hawaii, Indonésie).

Les travaux sur l'introgression d'espèces sauvages offrent des perspectives intéressantes. Ils visent, en particulier, l'introduction de résistances aux maladies chez les clones commerciaux.

Les plantations de canne à sucre sont actuellement réalisées avec des clones modernes. Leurs rendements varient de 20 à 300 t/ha de canne en fonction des conditions écologiques et techniques de la culture.

La canne à sucre de demain

Les nouveaux outils moléculaires mis à la disposition des sélectionneurs aboutiront dans les années à venir à une sélection plus rapide et plus efficace.

La mise au point de marqueurs génétiques permettra de mieux comprendre la structure et le fonctionnement du génome des variétés commerciales de *Saccharum* spp. La cartographie de ce génome est en cours au CIRAD. Elle s'appuie, entre autres, sur la synténie existant entre les génomes de la canne à sucre et ceux du maïs et du sorgho. L'identification de marqueurs moléculaires associés à certains caractères agronomiques débouchera sur une sélection assistée par marqueurs. La possibilité de repérer les génomes des différentes espèces impliquées dans les programmes d'introgression permettre d'accroître l'efficacité de ces programmes.

Enfin, la transformation génétique, pratiquée avec succès dans plusieurs pays à l'échelle expérimentale, ouvre des perspectives nouvelles chez cette plante au génome particulièrement complexe.

Le cocotier

Le cocotier, *Cocos nucifera,* est une monocotylédone arborescente de la famille des arécacées. C'est un palmier monoïque et diploïde. Dans les conditions naturelles, il se reproduit exclusivement par sa semence, la noix de coco.

Il existe deux grands groupes de populations présentant des régimes de reproduction différents : les cocotiers Nains sont préférentiellement autogames, les cocotiers Grands sont principalement allogames.

Souvent appelé arbre de vie en raison de ses multiples usages, le cocotier est à la base de la vie économique de nombreuses populations de la zone tropicale.

Le cocotier d'hier

L'aspect le plus typique du cocotier est celui d'un arbre de bord de mer, au tronc flexueux.

Le centre d'origine du cocotier reste discuté; il se situerait en Asie du Sud-Est ou en Océanie. Sa domestication est très ancienne et la plupart des cocoteraies actuelles sont plus ou moins inféodées à l'homme. Cette domestication aurait favorisé certains caractères tels qu'un volume important d'albumen liquide et une germination rapide, que l'on retrouve chez le type Niu Vai, par opposition au type Niu Kafa, plus apte à une dissémination naturelle par flottaison et supposé plus proche du cocotier sauvage.

Grâce aux propriétés de flottaison de sa noix, le cocotier se dissémine, au gré des courants marins, dans toute la zone tropicale, où on le trouve à proximité des côtes. Plus tardivement, les migrations humaines participent à sa dispersion.

Le cocotier est une plante de village, cultivée par un très grand nombre d'agriculteurs sur de très petites surfaces. Les noix sont consommées mûres ou immatures (eau de coco), mais les autres parties de la plante sont aussi mises à profit pour la construction et la confection de divers ustensiles.

A partir du XIXe siècle, le coprah (albumen déshydraté riche en huile) fait l'objet d'un commerce international intense. Il devient le premier oléagineux mondial vers 1914. Par la suite, la pression démographique dans les pays producteurs, qui pousse à l'autoconsommation, et la concurrence du soja et du palmier à huile réduisent la part du coprah dans les échanges internationaux. Celui-ci perd, dès 1960, sa prééminence et ce déclin relatif se poursuit actuellement. Le coprah conserve cependant un rôle considérable, tant dans le domaine alimentaire que dans l'industrie (savonnerie, cosmétiques, lubrifiants...).

Les recherches sur l'amélioration du cocotier débutent en 1916, mais ce n'est qu'après la seconde guerre mondiale qu'elles aboutissent à des progrès réels.

Les premières étapes de cette amélioration sont la collecte et la caractérisation des principales populations cultivées de cocotiers Nains et Grands. A partir de ces études, on effectue une amélioration intrapopulation selon différentes procédures de sélection (massale ou sur famille de demi-frères). Les premiers hybrides interpopulations sont réalisés dès 1920, mais les travaux dans ce domaine restent peu suivis.

C'est à partir des années 60 qu'un programme consacré aux hybrides interorigines est mis en place par l'IRHO (Institut de recherches pour les huiles et oléagineux, maintenant intégré au département des cultures pérennes du CIRAD). Il aboutit à la sélection d'hybrides performants, dont certains produisent deux fois plus que le meilleur de leurs parents.

Le cocotier d'aujourd'hui

Le cocotier couvre 11 millions d'hectares dans le monde, dont 94 % en Asie et dans le Pacifique. Les deux premiers producteurs, les Philippines et l'Indonésie, possèdent 75 % des surfaces plantées. La production mondiale de coprah s'élève à 4,9 millions de tonnes, auxquelles s'ajoutent 3,8 millions de tonnes d'« équivalent coprah », autoconsommées ou transformées en d'autres produits, dont le coco râpé.

Le cocotier reste une culture villageoise. Les petites plantations prédominent même s'il existe quelques plantations industrielles.

Les principaux critères retenus pour l'amélioration sont une production élevée de coprah et une bonne précocité. Les hybrides Nain x Grand sont particulièrement intéressants, tant pour la productivité que pour la précocité conférée par le parent Nain.

Dans de nombreux pays, la tolérance aux maladies représente une condition essentielle du développement, voire du maintien de la culture. On peut citer le dépérissement foliaire du cocotier au Vanuatu, le jaunissement mortel en Jamaïque et dans divers pays d'Afrique, le *Phytophthora* en Asie. Pour ces maladies, des sources de tolérance sont identifiées. L'adaptation à des conditions de culture particulières comme la sécheresse ou les sols coralliens est un facteur déterminant dans certaines régions.

La durée du cycle de production et le contexte économique font qu'une bonne part des plantations de Grands réalisées pendant la période faste du cocotier sont toujours en place. Cependant, la plupart d'entre elles sont sénescentes.

Les hybrides ont prouvé leurs potentialités dans des conditions extrêmement variées d'environnement et de système de culture (plantations villageoises ou grandes exploitations). Des champs semenciers sont mis en place pour leur production. Cependant, leur utilisation en plantation reste marginale du fait du faible taux de multiplication du cocotier, du coût de transport de la semence et de la structure atomisée de la cocoteraie cultivée. Seules 10 % des surfaces plantées le sont avec des cocotiers hybrides sélectionnés.

En dépit des succès indéniables obtenus avec les hybrides, les changements sont lents et, dans une large mesure, le cocotier d'aujourd'hui ressemble au cocotier d'hier.

Le cocotier de demain

Le défi majeur pour le cocotier consiste à concilier un système de culture villageois et une production d'exportation, insérée dans un marché mondial ouvert à la concurrence.

Du point de vue de la création variétale, les objectifs resteront les mêmes : productivité et adaptabilité. Mais l'avenir du cocotier passe également par la diversification de ses produits. Il en résultera probablement des contraintes liées aux différents modes de transformation. Ces contraintes pourront se traduire par de nouveaux objectifs de sélection.

Par ailleurs, le cocotier est fréquemment cultivé en association, d'où la nécessité d'une adaptation à ce mode de culture. Les hybrides Grand x Grand pourraient représenter à cet égard une option intéressante.

Un effort important est d'ores et déjà entrepris pour améliorer certains hybrides en utilisant la variabilité intrapopulation. Le gain obtenu dans les meilleures familles est de 15 %. L'étape suivante consistera à dépasser les limites des populations traditionnelles en exploitant l'ensemble de la variabilité de l'espèce. Un programme d'amélioration ambitieux a été établi à cet effet. Il s'appuie sur la sélection récurrente réciproque et intègre les deux axes de création variétale : les hybrides Grand x Grand et les hybrides Nain x Grand.

La multiplication végétative par embryogenèse somatique est en cours de développement. Elle devrait permettre la diffusion des meilleurs génotypes produits, assurant ainsi l'exploitation de la variabilité intrafamiliale. De plus, le potentiel de multiplication considérable de cette technique est un avantage certain pour une espèce comme le cocotier — une petite unité de production pourrait ainsi remplacer des centaines d'hectares de champs semenciers. Il reste à mettre au point un procédé de production, dont le coût sera concurrentiel avec celui des méthodes traditionnelles de multiplication.

Le cotonnier

Le cotonnier, *Gossypium,* est un petit arbuste pérenne (1 à 1,5 mètre) de la famille des malvacées. On reconnaît au sein du genre *Gossypium* une cinquantaine d'espèces, dont quatre sont cultivées pour leur fibre. *G. arboreum* et *G. herbaceum* sont diploïdes. *G. hirsutum* et *G. barbadense* sont tétraploïdes. Leur mode de reproduction est autogame.

Le cotonnier d'hier

Les espèces tétraploïdes, qui sont à l'origine de la majorité des variétés de cotonnier cultivées, sont originaires d'Amérique tropicale : Equateur et nord du Pérou pour *G. barbadense,* Mexique et Guatemala pour *G. hirsutum.* Leur domestication est très ancienne. Des fouilles archéologiques prouvent que la fibre de coton était déjà utilisée trois millénaires avant notre ère.

La culture de *G. barbadense* reste limitée à l'Amérique du Sud jusqu'au milieu du XVIe siècle. Le développement des échanges internationaux favorise alors sa dissémination mondiale. Les premières variétés cultivées fournissent un coton assez long mais peu fin.

G. barbadense fait son apparition aux Etats-Unis vers 1785 sous le nom de Sea Island, type originaire de la Barbade. Le Sea Island est un cotonnier de très long cycle, à faible potentiel productif mais aux qualités de fibres exceptionnelles. Aux Etats-Unis, la sélection, qui vise des types extra-longs de fibre, se développe jusqu'au début du XXe siècle, où la culture s'arrête, victime du charançon.

Dans la seconde moitié du XIXe siècle, la culture de *G. barbadense* se développe en Egypte, à partir d'un travail de sélection entre un Sea Island d'introduction récente et un type d'introduction plus ancienne qui donne naissance aux variétés de coton égyptiennes. L'une de ces variétés, introduite aux Etats-Unis vers 1900, est à l'origine des variétés à cycle plus court qui permettent la reprise de la culture du cotonnier dans ce pays à partir de 1950.

Bien que d'introduction précoce en Afrique (XVIIIe siècle), la culture de *G. barbadense* ne se développe au sud de la zone des savanes et dans le nord qu'au XIXe siècle. Sa sélection en Afrique de l'Ouest et au Maghreb (Algérie, Maroc) est conduite par l'IRCT (Institut de recherches du coton et des textiles exotiques, maintenant intégré au département des cultures annuelles du CIRAD) jusqu'en 1970. Dans les zones où la pression parasitaire est forte (centre de la Côte d'Ivoire et Togo), ce cotonnier permet une faible et irrégulière production, là où *G. hirsutum* ne peut se développer. L'apparition des insecticides de synthèse, qui rendait beaucoup plus attrayant *G. hirsutum,* fait disparaître cette culture dans les années 60.

Pour *G. hirsutum,* on identifie, dans son centre de diversification, plusieurs races. La race *latifolium,* appelée communément « cotonnier Upland », est à l'origine des variétés cultivées. Elle est insensible à la photopériode et peut être cultivée selon un système de production annuel. Les races pérennes et photopériodiques, rencontrées à l'état subspontané ou sauvage au Mexique, en Amérique latine et dans l'arc antillais, seront peu exploitées.

La diffusion de *G. hirsutum* à partir du XVIe siècle est parallèle à celle de *G. barbadense,* mais sa culture ne connaîtra un réel essor qu'au XIXe siècle. De nombreuses variétés sont alors créées aux Etats-Unis à partir d'introductions du Mexique et du Guatemala. Ces variétés très diversifiées (types précoces et tardifs) sont issues de sélections ou d'hybridations. Au début du XXe siècle, l'apparition du charançon modifie les objectifs de la sélection : les variétés à cycle court et à fructification rapide s'imposent.

Jusqu'au milieu du XXe siècle, la sélection du cotonnier *G. hirsutum* est surtout active aux Etats-Unis. La variabilité actuelle de ce cotonnier est ainsi tributaire des introductions et des brassages réalisés dans ce pays.

De nouveaux centres de recherche sont créés au milieu du XXe siècle dans les pays producteurs. Les programmes de sélection s'orientent dans plusieurs directions en fonction des besoins locaux : grosses capsules (Brésil), types Okra (Australie), variétés hybrides (Inde), *cluster* (Ouzbékistan).

La sélection de *G. hirsutum* débute en Afrique tropicale en 1946 avec la création de l'IRCT. La productivité est alors le principal critère de sélection. On cherche à obtenir des variétés à cycles assez longs qui compensent les attaques de chenilles sur les premières floraisons. L'augmentation des rendements est de l'ordre de 50 % par rapport à la production des populations locales.

A partir de 1975, les progrès réalisés en matière de protection phytosanitaire, et en particulier l'apparition des pyréthrinoïdes, permettent d'envisager la réduction du cycle du cotonnier. Des types plus précoces, utilisant mieux la courte saison des pluies africaine, apparaissent.

Dans les années 80, des études morphologiques mettent en évidence l'intérêt des génotypes possédant un proportion réduite de branches végétatives. Les variétés atteignent des potentiels de production élevés.

Parallèlement à l'augmentation de la productivité, la sélection porte sur les caractéristiques technologiques de la fibre. Jusqu'en 1960, seule la longueur de la fibre est prise en compte. Par la suite, compte tenu des perfectionnements apportés aux instruments de mesure et de l'évolution des procédés de filature, les paramètres de qualité (longueur, finesse, ténacité) sont travaillés avec précision. Au début des années 70, il est possible de proposer en Afrique une gamme de variétés qui correspondent aux meilleures qualités de leur catégorie sur les marchés internationaux.

Le rendement en fibre à l'égrenage (poids de la fibre rapporté au poids du coton-graine) est également sélectionné. Un rendement élevé permet d'abaisser les coûts de production de la fibre. Les progrès sont spectaculaires, les rendements égrenage passant de 34-35 % en 1950 à 42-44 % actuellement, avec des variétés atteignant 45-46 % en usine dans certains pays.

Le cotonnier d'aujourd'hui

Le cotonnier est actuellement cultivé dans des systèmes intensifs irrigués, dans la grande majorité des pays producteurs, mais aussi en culture pluviale, dans les zones de savanes tropicales. Sa culture couvre 32 millions d'hectares. Les principaux producteurs sont la Chine, les Etats-Unis, l'Inde et le Pakistan.

La production annuelle est de 20 millions de tonnes de fibre, dont seulement 6 millions de tonnes sont exportées. Les principaux exportateurs sont les Etats-Unis, l'Ouzbékistan et l'Afrique francophone.

L'espèce *G. hirsutum* représente 91 % de la production mondiale de coton du fait de son excellente capacité d'adaptation et de son fort potentiel productif. L'espèce *G. barbadense* contribue pour 5 % à la production mondiale. Elle est cultivée essentiellement dans des zones arides sous irrigation pour un marché relativement étroit de fibre d'excellente qualité. Enfin, 4% de la production mondiale provient des espèces diploïdes cultivées en Asie (Inde, Asie du Sud-Est).

L'amélioration du cotonnier s'appuie sur la méthode classique de sélection des autogames : la sélection généalogique de lignées pures. Les critères de cette amélioration ont cependant évolué. La qualité de la fibre est un facteur déterminant. Produit de haute technologie, le coton doit s'adapter à la demande de l'industrie et aux nouvelles techniques de filature.

En ce qui concerne *G. hirsutum,* les objectifs de la sélection sur la qualité de la fibre sont diversifiés en fonction des procédés de transformation : longueur 1"3/32, fibre fine et tenace, pour la filature de type *open end,* longueur 1"1/8, fibre tenace et mûre pour la filature anneau.

La contrainte majeure de la culture du cotonnier est actuellement d'ordre phytosanitaire. Cette culture consomme à elle seule le quart des insecticides agricoles alors qu'elle ne représente que 2 % des surfaces cultivées.

Le recours à la transgenèse peut apporter une solution à ce problème. Aux Etats-Unis, les premières variétés transgéniques vont prochainement être diffusées. Elles présentent des résistances aux insectes et aux herbicides. Le département des cultures annuelles du CIRAD réalise des recherches sur les gènes *Bt* et inhibiteurs de protéase pour conférer aux plantes une meilleure résistance aux insectes.

En Afrique, d'autres objectifs d'amélioration sont pris en compte. C'est ainsi que le département des cultures annuelles du CIRAD s'intéresse très tôt aux cotonniers *glandless.* Ce caractère *glandless,* découvert aux Etats-Unis en 1954, présente l'avantage de fournir des graines dépourvues de gossypol, composé toxique rendant la graine impropre à la consommation. Avec l'installation d'huileries modernes, les sociétés de développement prennent conscience du parti qu'elles peuvent tirer de la richesse oléoprotéagineuse de la graine, véritable coproduit de la culture, puisqu'il représente un cinquième de la valeur de la fibre.

Dans les années 80, l'intérêt des variétés *glandless* se confirme. L'introduction du caractère chez les cotonniers africains aboutit à la création d'une variété *glandless* ayant un bon rendement à l'égrenage et adaptée aux conditions locales.

Cette variété est actuellement la plus cultivée en Afrique où elle couvre 300000 hectares. Mais paradoxalement, ce sont ses qualités propres, et non ses spécificités *glandless,* qui en font une variété appréciée des agriculteurs. Le contexte économique africain ne permet pas une réelle valorisation alimentaire de la graine.

Dans le monde, seules des variétés améliorées sont cultivées pour les espèces tétraploïdes. On recense chaque année 1,5 million d'hectares cultivés avec des variétés créées par le CIRAD en Afrique, en Amérique et en Asie.

Le cotonnier est à l'origine d'une véritable révolution verte en Afrique. Soutenue par une création variétale active, la production a connu une forte croissance depuis les années 60. Le paysage agricole des savanes change, le paysan aussi.

La culture attelée, l'usage des insecticides et des engrais, l'apparition des herbicides dans certains pays et le regroupement des paysans en associations villageoises sont autant de facteurs de développement économique durable et d'évolution socio-culturelle irréversible que la culture cotonnière introduit.

Le cotonnier de demain

Le développement de la culture cotonnière en Afrique s'accompagne d'effets défavorables sur l'environnement. Les sols se dégradent en l'absence d'une bonne restitution de la biomasse et les engrais chimiques, dont le prix a augmenté considérablement du fait de la suppression des subventions, sont moins utilisés. L'emploi des pesticides, bien que relativement limité, pose des problèmes de pollution.

Face à ces conséquences néfastes à court terme, la sélection va s'orienter vers la création de variétés plus rustiques, résistantes aux contraintes biotiques et abiotiques de l'environnement.

Les biotechnologies, et en particulier la transformation génétique, peuvent contribuer à résoudre certains de ces problèmes. La création de variétés transgéniques résistantes aux insectes, utilisables dans le cadre d'une gestion raisonnée des prédateurs, est en cours en France, aux Etats-Unis et en Australie.

D'une manière générale, les travaux sur la cartographie du génome et sur la physiologie du cotonnier apporteront les connaissances nécessaires à une meilleure utilisation de ses ressources génétiques et de ses facultés adaptatives.

Enfin, compte tenu de l'évolution démographique et des problèmes alimentaires qu'elle va engendrer, on peut penser que les variétés *glandless* trouveront dans l'avenir leur pleine utilisation.

Les eucalyptus

Les eucalyptus sont des dicotylédones ligneuses pérennes, arborées ou arbustives, de la famille des myrtacées.

Ils appartiennent au genre *Eucalyptus,* riche de plus de 550 espèces réparties en huit sous-genres qui représentent des groupes « naturels » parfaitement identifiables. Dans leur immense majorité, les espèces cultivées (plus de 50) appartiennent au sous-genre *Symphyomyrtus.* Bien que très diversifiées du point de vue de leurs caractères agronomiques et technologiques, ces espèces présentent une grande homogénéité du point de vue de leur fonctionnement biologique. Ce sont des espèces diploïdes, monoïques, préférentiellement allogames. Leur reproduction s'effectue généralement par graines, plus rarement par drageons. De nombreux croisements interspécifiques sont possibles.

Les eucalyptus d'hier

L'aire naturelle du genre s'étend, à l'est de la ligne de Wallace, des Philippines à la Tasmanie.

Les *Eucalyptus* constituent l'élément principal et caractéristique de la flore arborée du continent australien, où ils occupent des habitats très variés, de la chaîne alpine du sud-est aux franges côtières, de l'intérieur sec aux forêts humides.

Leur grande plasticité leur a permis de coloniser des sols médiocres et des milieux contraignants. Les principaux facteurs limitant leur extension sont d'ordre climatique ou biotique : sécheresse extrême des déserts centraux, gel en altitude et humidité saturante de la forêt tropicale favorisant le développement des agents pathogènes.

La diversité des milieux occupés s'accompagne d'une grande variété de formes. *E. oxymitra* est un petit arbre ou un buisson multicaule de 1 à 4 mètres de haut. On le trouve au centre de l'Australie sur des sols squelettiques et des champs dunaires. *E. regnans,* présent dans l'Etat de Victoria et en Tasmanie, est, quant à lui, le plus haut feuillu du monde, certains individus atteignant plus de 100 mètres. Son fût, parfaitement droit et élagué, peut fournir jusqu'à 180 mètres cubes de bois. Entre ces deux extrêmes, il existe toute une gamme d'espèces allant des *mallees* multicaules caractéristiques du sud sec aux grands arbres de 30 à 50 mètres de hauteur dominant les formations forestières des zones humides.

Comme c'est généralement le cas pour les espèces forestières, l'effort de domestication est très récent.

Au XVIe siècle, des *Eucalyptus* sont pour la première fois introduits en Europe. Mais leur utilisation en plantation ne commence que dans la seconde moitié du XIXe siècle.

A la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle, les premières plantations d'envergure destinées à la production de bois sont réalisées en Afrique du Sud et au Brésil. A partir de cette époque, l'intérêt porté au genre ne fait que croître.

Des introductions sont réalisées sur une zone très vaste avec plus ou moins de succès en fonction des conditions pédoclimatiques des régions d'accueil. Les principales limites écologiques à l'utilisation des *Eucalyptus* en plantation de production sont le froid, la forte humidité équatoriale et la sécheresse.

Les techniques sylvicoles sont relativement variées et dépendent à la fois du produit final (bois de chauffage, poteaux, bois de trituration, bois d'œuvre et de service...) et du niveau de technicité de la plantation.

C'est en plantation industrielle que le plus haut degré de sophistication est atteint : nettoyage complet du terrain, labour, fertilisation, entretien mécanique ou chimique, récolte en partie mécanisée. Mais dans la majorité des plantations c'est une sylviculture sans intrants, faiblement entretenue et entièrement manuelle, qui est pratiquée. Les écarts de productivité annuelle sont énormes : de 5 à 40 m^3/ha.

La mise au point des techniques industrielles de bouturage au Congo dans les années 70 permet un accroissement très important de la productivité. Ces techniques sont rapidement adoptées au Brésil, en Afrique du Sud et par l'ensemble des grandes compagnies.

Les plantations paysannes n'évoluent que peu ou pas du tout. La durée de vie des peuplements, gérés en taillis pendant 5 à 10 révolutions, et le coût de remplacement sont des obstacles difficilement surmontables.

Jusqu'au début des années 60, les lots de graines provenant d'Australie ou échangés entre les pays utilisateurs sont souvent d'origine incertaine. Les semences utilisées pour les plantations sont issues des premières parcelles d'introduction, sans qu'aucune attention particulière ne soit portée au choix des semenciers et aux risques de consanguinité.

Le besoin de diversification, notamment pour les zones marginales, et le sentiment de ne pas détenir les meilleurs génotypes conduisent à intensifier l'analyse de la diversité génétique du genre. De très nombreuses campagnes de récolte sont ainsi réalisées à partir de 1960.

Ces récoltes s'attachent à échantillonner, de façon précise et systématique, la diversité génétique présente dans les aires naturelles. Elles sont conduites essentiellement par les services forestiers australiens et indonésiens ainsi que par les organismes de recherche brésilien (EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) et français (CTFT, Centre technique forestier tropical, devenu département des forêts du CIRAD).

Les collections ainsi réalisées sont pour certaines évaluées dans le cadre d'essais internationaux de provenances. Les résultats acquis contribuent largement à la connaissance de la diversité et de la structure génétiques du genre. De très nombreux essais sont encore en cours et ne cessent d'être mis en place dans toute l'aire d'introduction. C'est ainsi que le CTFT effectue des tests sur 128 espèces, plus de 1 000 provenances et environ 3 000 lots de matériel sauvage d'*Eucalyptus* divers.

Ces essais montrent l'importance insoupçonnée de la variabilité interprovenance et interdescendance et la nécessité d'une sélection sévère des génotypes. Ils aboutissent à l'intro-

duction de matériel sauvage sélectionné dans les peuplements artificiels, dont la productivité augmente de manière significative.

L'amélioration génétique débute dans les années 60, avec la sélection des meilleures provenances et l'obtention de variétés populations en vergers à graines. A partir de 1980, les variétés clonales se développent. Les résultats de cette amélioration sont surtout exploités par les grandes plantations industrielles.

Les eucalyptus d'aujourd'hui

Les *Eucalyptus* sont actuellement cultivés dans l'ensemble de la zone tropicale et subtropicale, voire tempérée, de 45° de latitude N, en France, à 45° de latitude S, en Nouvelle-Zélande.

On distingue quatre zones écologiques principales : la zone tropicale humide de basse altitude (Congo, Zaïre, nord du Brésil, Indonésie), la zone tropicale ou subtropicale sèche (frange soudano-guinéenne, Nordeste brésilien), la zone subtropicale humide et tropicale d'altitude (Afrique du Sud, sud du Brésil, montagnes d'Afrique), et la zone méditerranéenne (France, Espagne, Portugal, Israël, Maroc, Argentine).

Les espèces plantées sont fonction de la zone considérée, mais leur plasticité et les nombreuses possibilités de croisement interspécifiques permettent une grande latitude dans le choix du matériel végétal pour les zones marginales ou intermédiaires.

La surface totale plantée est estimée à plus de 15 millions d'hectares, dont environ 60 % en culture villageoise. La production annuelle de bois est de l'ordre de 100 à 120 millions de mètres cubes. Elle a presque doublé en vingt ans.

Le principal critère de sélection est la croissance, qui reste l'élément déterminant de la rentabilité économique de la plantation. On cherche à la fois à augmenter le volume produit et à réduire la longueur des rotations. L'adaptation aux conditions de culture est également un critère important : résistance au froid en France, adaptation à la forte humidité et à la chaleur en zone équatoriale... La qualité du bois est prise en compte par quelques programmes d'amélioration : qualités papetières et propriétés physiques et mécaniques. La résistance aux ravageurs, encore peu nombreux sur les eucalyptus, n'est qu'une préoccupation marginale.

Le matériel végétal reste essentiellement constitué par des graines. Ces graines sont produites en vergers (de familles ou de clones) mais plus généralement en simples peuplements semenciers. Une bonne part des extensions est toujours réalisée avec des graines « sauvages » récoltées dans les aires naturelles.

Les variétés clonales d'espèces pures ou d'hybrides sont maintenant bien développées dans les grandes plantations industrielles.

Des schémas d'amélioration sophistiqués tels que la sélection récurrente réciproque sont actuellement mis en place.

La foresterie villageoise connaît un engouement certain. Quelques programmes se sont fixés pour objectif la création de variétés populations améliorées. C'est ainsi qu'à Madagascar un réseau de vergers à graines d'amélioration se constitue. Ce réseau prévoit une amélioration sur plusieurs générations selon un schéma de sélection récurrente. Les graines produites à chaque génération seront diffusées à bas prix par un établissement public.

Les eucalyptus de demain

En plantation paysanne, l'objectif de l'amélioration reste l'accroissement de la productivité moyenne. Les méthodes sont bien connues : utilisation de graines produites en vergers à graines de clones ou de familles. Les Etats devront les mettre en œuvre au profit du monde rural. Les principaux écueils demeurent le financement de ces programmes et la diffusion de leurs résultats.

En plantation industrielle, l'amélioration des qualités technologiques du bois est essentielle. Elle nécessite la mise au point de techniques de mesure fiables et utilisables en routine sur de forts effectifs. Elle débouchera sur une diversification des utilisations du bois, notamment pour le bois d'œuvre. La conquête de nouvelles zones de plantation est également un enjeu important. L'utilisation raisonnée de la diversité génétique du genre pour la création d'hybrides permettra d'étendre la culture des eucalyptus.

L'évaluation des ressources génétiques, bien avancée pour les espèces majeures, est loin d'être terminée. D'importants gains génétiques peuvent encore être obtenus par le simple criblage du matériel. Ce travail reste donc une priorité.

Une importante réflexion sur les caractères valorisables de ces ressources génétiques permettra d'établir les bases de la création des génotypes du futur.

Les programmes de sélection récurrente sont encore peu nombreux et peu avancés. Si les principes de base qui régissent ces schémas sont connus, leur mise en œuvre nécessite des travaux techniques et théoriques : amélioration du greffage, accélération de la mise à fleur, analyse quantitative de plans de croisements déséquilibrés mettant en jeu plusieurs populations parentales, mise en évidence des corrélations entre stades juvénile et adulte et entre caractères, gestion de petites populations, construction d'index de sélection...

Les biotechnologies sont mises en œuvre pour accélérer ou affiner les travaux classiques d'amélioration. Plusieurs équipes, dont le département des forêts du CIRAD, travaillent sur l'établissement de cartes génétiques et la recherche de marqueurs moléculaires.

Les techniques *in vitro* sont, elles aussi, en cours de développement avec, comme objectifs principaux, la réjuvénilisation d'arbres âgés, la mise en place de banques de gènes et, dans un avenir plus lointain, l'obtention de semences artificielles.

Par ailleurs, certaines équipes envisagent la transformation génétique, notamment pour la résistance aux herbicides et la réduction du taux de lignine.

L'hévéa

L'hévéa est un arbre de la famille des euphorbiacées. Le genre *Hevea* comprend neuf espèces ligneuses produisant du latex, mais seule l'espèce *H. brasiliensis* est actuellement exploitée. Cet arbre monoïque à cycle long est considéré comme préférentiellement allogame. Il semble que ce soit un allotétraploïde de comportement très proche de celui d'un diploïde.

L'hévéa d'hier

A l'état sauvage, c'est un grand arbre de forêt, à feuilles caduques, de 1 à 2 mètres de circonférence et de 25 à 30 mètres de hauteur.

On le trouve le plus souvent sur des terrains bien drainés, mais aussi dans des bas-fonds soumis aux inondations annuelles. Il vit en petits peuplements peu denses, de l'ordre de quelques arbres à l'hectare, intimement mêlés à d'autres espèces forestières.

Dans son aire d'origine, le bassin amazonien, l'ensemble du genre couvre près de 6 millions de kilomètres carrés ; l'aire de distribution de *H. brasiliensis* se limite au sud du fleuve Amazone.

La production de caoutchouc à partir d'arbres est connue depuis Christophe Colomb. Son utilisation se réduit alors à la fabrication de quelques articles indigènes. Il faut attendre la fin du XVIIIe siècle pour que l'arbre producteur soit identifié par les botanistes.

Au XIXe siècle, les chimistes apprivoisent le produit, les industriels le demandent, et ce sont les arbres natifs que l'on exploite en forêt. Le Brésil est en situation de quasi-monopole, et Manaus devient la capitale du caoutchouc.

Lorsque l'industrie commence à produire en masse des pneumatiques, la demande s'amplifie, la récolte sur les arbres natifs ne suffit plus, et l'hévéa quitte le continent sud-américain pour être cultivé en plantations artificielles en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka), du Sud-Est (Malaisie, Indonésie, plus tard Vietnam...), enfin, en Afrique du Centre et de l'Ouest.

L'Amérique latine, en raison de problèmes sanitaires, n'a pas pu développer ce type de plantation. L'hévéa quitte son continent d'origine pour connaître un essor considérable dans d'autres régions tropicales du globe.

L'histoire de l'amélioration de la plante peut se résumer en quelques étapes marquantes.

En 1900, on passe à l'économie de plantation. Les semis sont réalisés sans sélection. Les rendements annuels sont faibles, de l'ordre de 0,4 t/ha, et les augmentations de produc-

tion sont le résultat d'une extension des surfaces et de la mise au point des pratiques agricoles.

En 1925, le sélectionneur élimine les arbres non productifs, améliore l'homogénéité des plantations, dont la productivité passe à 1,2 t/ha.

En 1930, deux voies de sélection sont suivies simultanément : la sélection des descendances des meilleurs arbres, aboutissant à des plantations de type *seedlings,* dont la productivité annuelle plafonne à 1,75 t/ha ; la multiplication végétative par greffage, avec la création de clones issus d'arbres « plus » par sélection massale, avec une productivité annuelle de l'ordre de 2 t/ha.

En 1950, la multiplication de l'hévéa par clonage s'impose. La sélection de nouveaux clones se réalise à partir de descendances des meilleurs clones croisés entre eux, ce qui permet non seulement de parvenir à des productions annuelles de 2,5 t/ha, mais aussi d'introduire des caractères favorables au maintien des peuplements, comme la résistance à certaines maladies, au vent...

L'hévéa d'hier a donc déjà considérablement progressé depuis les débuts de sa domestication : la productivité a été multipliée par cinq, les clones sont d'une telle homogénéité que les plantations atteignent des niveaux de rentabilité certainement peu anticipés un demi-siècle auparavant. Cependant, peu d'efforts auront été faits pour améliorer les qualités technologiques du caoutchouc.

L'hévéa d'aujourd'hui

Les grandes zones hévéicoles se situent toujours en région tropicale humide. Des tentatives, parfois couronnées de succès, ont été faites en vue d'une extension des cultures vers des zones considérées comme marginales — il s'agit surtout de zones à températures moyennes basses, comme la Chine, ou de régions d'altitude moyenne, de 500 à 800 mètres.

Les pays asiatiques produisent plus de 90 % du caoutchouc naturel à eux seuls, avec en tête la Thaïlande, l'Indonésie et la Malaisie. L'Afrique représente environ 6 % de la production mondiale, alors que le continent latino-américain n'en produit que 2 %, toujours en raison d'un problème sanitaire, déjà évoqué, à savoir une maladie des feuilles redoutable, due à un champignon, *Microcyclus ulei.*

La production mondiale est d'environ 5 millions de tonnes par an ; 1 kilogramme de caoutchouc se vend en moyenne 1 dollar US. Les surfaces plantées représentent sans doute 7 millions d'hectares et on estime à 20 millions le nombre de personnes impliquées dans la production et le transport de ce produit. La compétition de l'après-guerre entre caoutchouc naturel et caoutchouc de synthèse a été très vive, et leur part respective est de l'ordre d'un tiers contre deux tiers. Le caoutchouc naturel présente cependant des qualités technologiques auxquelles le caoutchouc de synthèse ne peut pas économiquement prétendre.

Il est à noter qu'un institut de recherche sur le caoutchouc est implanté dans chacun des quinze principaux pays producteurs, auxquels il convient d'ajouter la France, avec le CIRAD. Cinq d'entre eux conduisent un programme important d'amélioration génétique de l'hévéa.

Les outils du sélectionneur sont encore ceux de la génétique classique. Ce sont la génétique quantitative et la biométrie pour le choix des parents et le tri dans les descendances. L'expérimentation au champ représente encore la part la plus importante des

activités, bien que des travaux en laboratoire, de biologie moléculaire ou de physiologie par exemple, génèrent un accroissement des connaissances tout à fait utile au généticien de terrain.

La propagation de la plante se fait toujours par greffage et la qualité des clones disponibles a encore progressé : les clones actuels présentent des potentialités de production annuelle qui peuvent dépasser 3 t/ha. L'âge de l'entrée en production est passée de 7 ans à 5 ans, ce qui représente un progrès économique important. L'homogénéité des plantations est encore améliorée. Le sélectionneur dispose d'un portefeuille de clones relativement varié. Il peut ainsi adapter ses choix variétaux aux pressions de l'environnement (maladies des organes aériens, dommages causés par le vent...) et même répondre aux exigences des agronomes pour assurer un ajustement clonal aux modes de saignée retenus.

La qualité technologique du caoutchouc commence à être prise en compte, mais dans la mesure où le matériel végétal produisant une caractéristique défavorable est éliminé plutôt qu'en tant qu'amélioration proprement dite.

Les clones issus des sélections actuelles sont surtout adaptés aux conditions des plantations industrielles, dont la production moyenne annuelle peut dépasser 2 t/ha sur plusieurs milliers d'hectares. Ces sociétés sont relativement réceptives à l'introduction de nouveaux clones ; elles participent souvent activement au processus d'évaluation et de sélection.

Les petits planteurs d'hévéa utilisent également dans leur grande majorité des clones sélectionnés. S'ils ne le font pas, c'est qu'ils se trouvent dans des conditions socio-économiques particulières, peu compatibles avec les évolutions économiques actuelles. Leur production annuelle est très variable, de 0,5 à 2 tonnes par an, mais souvent inférieure à 1 tonne, ce qui montre que le matériel végétal moderne n'est pas bien utilisé. Il est difficile de dire alors si ce matériel végétal est mal adapté ou si le planteur ne fait pas ce qu'il faut.

L'hévéa de demain

Du fait du renchérissement de la main-d'œuvre et de sa raréfaction dans certains grands pays producteurs, la tendance aux vastes surfaces cultivées serait à la baisse pour les prochaines décennies — ainsi, en Malaisie, les surfaces hévéicoles sont passées de 1,8 à 1,2 million d'hectares ces cinq dernières années.

Augmenter la productivité est donc, encore, on ne peut plus à l'ordre du jour. Pour y parvenir, on peut viser l'intensification de la production à l'arbre ou un meilleur état du peuplement.

L'élargissement de la zone cultivée est également à envisager, soit en sélectionnant des clones spécifiquement adaptés à de nouvelles conditions agroclimatiques (froid, sécheresse, altitude), soit en sélectionnant des clones résistants à cette redoutable maladie des feuilles sévissant sur le continent latino-américain, ce qui permettrait d'exploiter de nouvelles zones, très vastes, en Amazonie.

Compte tenu de la mauvaise exploitation du potentiel de production des clones modernes par le petit planteur, et compte tenu également du fait que ces petits planteurs représentent 85 % de l'hévéaculture dans le monde, l'effort du sélectionneur devra porter sur la sortie variétale adaptée à ce secteur agricole.

L'amélioration des qualités technologiques du caoutchouc devra être intégrée de façon plus directe au processus de création variétale pour répondre à la pression qu'exerce le caoutchouc de synthèse, toujours prêt à se substituer au caoutchouc naturel si les conditions du marché le permettent.

Enfin, le bois d'hévéa est d'utilisation de plus en plus courante. Comment concilier dans un même matériel végétal des objectifs relativement antagonistes comme la production de biomasse et la production d'un métabolite secondaire ? La réponse pourrait venir d'un matériel à très forte croissance et à renouvellement très rapide.

Augmenter la production à l'arbre peut être envisagé sous différents aspects, impliquant souvent l'intégration de nouvelles méthodes dans un processus de création variétale classique qu'il faut maintenir à long terme. On peut envisager l'obtention par culture *in vitro* d'un arbre clonal entier sur ses propres racines et non plus un arbre greffé, ce qui supprimerait les mauvaises relations porte-greffe-greffon ; la transformation génétique, qui permet d'envisager un effet direct sur les gènes intervenant dans la production de caoutchouc ou sur leur régulation ; l'exploitation la plus rationnelle possible des ressources génétiques pour obtenir des clones réellement nouveaux en visant les phénomènes de complémentarité ou de vigueur hybride.

Améliorer l'état des peuplements d'arbres c'est sélectionner des clones sur des caractères secondaires de très haute importance, comme les résistances aux maladies, la forme de l'appareil aérien... La sélection assistée par marqueurs moléculaires devrait représenter un nouvel outil à ajouter à la panoplie du généticien. Dans ce sens, notre équipe travaille à l'établissement d'une cartographie. Le clonage de la partie racinaire de l'arbre, jusqu'à présent impossible, devient presque une réalité par la culture *in vitro*. La sélection de racines résistantes au *Fomes* est envisagée. L'utilisation de produits fongicides onéreux et dangereux pour l'environnement serait alors abandonnée.

Répondre aux besoins des petits planteurs c'est introduire dans le processus de sélection plusieurs disciplines jusqu'à présent relativement indépendantes, comme la génétique et la socio-économie ; c'est revoir un dispositif qui a fait ses preuves dans un certain contexte, mais qu'il convient sans doute de faire évoluer dans un esprit de plus grande intégration.

Le maïs

Le maïs, *Zea mays,* est une monocotylédone de la famille des poacées. Son mode de reproduction est allogame et son génome diploïde. C'est une plante herbacée annuelle monoïque.

Le maïs d'hier

Le maïs est cultivé depuis des millénaires en Amérique centrale, comme l'attestent les grains trouvés au Mexique. C'est la seule céréale pour laquelle on ne connaît pas avec certitude de parent sauvage.

A partir de son centre d'origine, la culture du maïs s'est propagée sur tous les continents, en zone tropicale comme en zone tempérée. Sa présence est signalée au XVIe siècle en Méditerranée, en Asie et dans le golfe de Guinée, et au XVIIe siècle en zone soudanienne africaine. En Europe, la culture du maïs se limite aux régions méridionales. Ce n'est qu'en 1965, avec la création d'hybrides précoces à haut rendement, qu'elle se développe vers le nord, principalement en France.

Le maïs, en raison de son mode de reproduction, est soumis à une sélection massale dès les débuts de sa domestication. Les agriculteurs choisissent à chaque saison les plus beaux épis pour ensemencer leur champ à la saison suivante. Cette méthode reste la règle encore aujourd'hui pour les écotypes locaux.

Cependant, au début du XXe siècle, d'autres méthodes de sélection sont mises au point. Elles s'appuient sur le contrôle de la pollinisation. Après plusieurs générations d'autofécondations aboutissant à la création de lignées pures, les meilleures de ces lignées sont croisées entre elles pour produire un hybride qui est ensuite diffusé. Pour le maïs tropical, la sélection d'hybrides est déjà largement utilisée avant 1960 au Brésil et au Mexique, sous l'influence des Etats-Unis, et en Afrique du Sud et de l'Est, en relation avec la colonisation anglaise.

Une épidémie de rouille américaine apparaît dans le golfe du Bénin au début des années 50 suite à des introductions de maïs américains au titre de l'aide alimentaire. C'est la première manifestation connue d'une vérité insoupçonnée jusqu'alors : les maladies existent et se propagent très rapidement.

Depuis 1960, l'amélioration des maïs tropicaux a connu trois grandes étapes.

De 1960 à 1975, le temps des hybrides : l'époque est à l'intensification. Il suffit de transposer les techniques intensives européennes en Afrique pour résoudre les problèmes de son agriculture vivrière. L'application de ce principe au maïs africain se solde par un

échec. Les écotypes locaux, proposés à la vulgarisation, sont adaptés à une agriculture extensive et réagissent mal à l'intensification (taille excessive, sensibilité à la verse, rendements limités) et à la sélection (variabilité génétique réduite).

On s'oriente alors vers la seule autre formule variétale existante, celle des hybrides. Les premiers hybrides créés à partir de lignées issues d'écotypes africains sont décevants. On expérimente alors l'association de lignées tempérées ayant une bonne valeur en croisement et de variétés locales bien adaptées au milieu. Cette méthode est mise en œuvre avec succès au Sénégal, en Côte d'Ivoire et à la Réunion. Des hybrides intervariétaux sont également proposés au Bénin et au Burkina. Mais ces formules, malgré leurs qualités, passent mal en vulgarisation, la demande restant faible.

De 1975 à 1985, le temps des variétés : l'intensification c'est bien, mais pas pour tout le monde. Il restera encore longtemps des paysans traditionnels dont les systèmes de culture sont certes peu productifs mais en équilibre avec le milieu, et d'autres qui, en particulier dans les zones où se développe la culture du coton, souhaitent pratiquer un début d'intensification. Peut-on proposer la même variété à tous ? La réponse est non, et la nécessité d'adapter la formule variétale au niveau d'intensification se fait jour.

La sélection récurrente, développée à partir des années 60 aux Etats-Unis, s'avère intéressante dans ce contexte. Par ailleurs, la notion de composite apparaît au Kenya, où les hybrides ne donnent pas satisfaction aux petits paysans. Le composite permet de créer une variabilité génétique nouvelle. Enfin, le CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) et l'IITA (International Institute of Tropical Agriculture) émergent sur la scène internationale.

De la conjonction de ces trois facteurs va naître, dans les années 75, la vogue des variétés améliorées, alliant potentialités de rendement élevées (plus de 9 t/ha), qualités agronomiques (taille d'environ 2 mètres, résistance à la verse) et résistance aux principales maladies. Elles trouvent leur place entre les écotypes et les hybrides et sont largement vulgarisées partout où une certaine intensification se développe ou bien lorsqu'un problème sérieux apparaît, comme le *maize streak virus* en Afrique de l'Ouest, pour lequel l'IITA crée des variétés résistantes.

A partir de 1985, le retour des écotypes : les variétés améliorées ne satisfont pas tous les besoins. Elles sont adaptées à un milieu relativement intensifié. Mais, pour le paysan traditionnel, elles répondent mal à son système de culture et à ses critères de qualité du grain. Il continue à cultiver les écotypes. Il importe donc de les améliorer pour les tolérances aux stress et pour la qualité du grain. Ces travaux sont en cours.

Le maïs d'aujourd'hui

Le maïs est la céréale la plus cultivée, avec 127 millions d'hectares, dont 58 millions en zone tropicale. On le trouve de 40° de latitude S, en Amérique et en Afrique, à 58° de latitude N, au Canada. Les conditions écologiques et socio-économiques de sa culture sont très variées. En zone tropicale, il est principalement cultivé dans les régions de basse altitude (68 % des surfaces) et de moyenne altitude (26 %) dans des systèmes de production traditionnels ou moyennement intensifiés.

La production mondiale s'élève à 460 millions de tonnes en 1993-1994. Les Etats-Unis sont les premiers producteurs avec 161 millions de tonnes. Le commerce international du maïs porte sur 56 millions de tonnes.

L'amélioration du maïs tropical vise, non pas une variété idéale, mais une gamme de variétés. Celles-ci doivent être adaptées aux différents niveaux d'intensification pratiqués : culture extensive destinée à l'autoconsommation, culture semi-intensive, culture intensive commerciale. Elles doivent être capables de produire dans des milieux très variables — la stabilité du rendement prime souvent sur la productivité. Elles doivent, enfin, être appréciées des utilisateurs — le type et la couleur du grain, les qualités de mouture et de conservation sont des critères essentiels.

Tous les types variétaux sont actuellement cultivés en fonction des besoins des agriculteurs et du niveau d'intensification de leurs exploitations. Les différentes méthodes d'amélioration variétale sont toujours exploitées.

Les écotypes locaux sont largement utilisés en agriculture traditionnelle extensive. Ils constituent la meilleure formule pour des rendements inférieurs à 2 t/ha.

Les variétés issues de la sélection récurrente conviennent pour des systèmes à intensification moyenne, du type de ceux pratiqués en zone cotonnière, où les rendements visés vont de 2 à 5 t/ha.

Enfin, les hybrides sont réservés à la culture intensive avec intrants, où ils peuvent le mieux exprimer leurs potentialités.

Ces deux derniers types représenteraient, d'après le CIMMYT, 50 % des surfaces cultivées en maïs en zone tropicale et subtropicale, soit 29 millions d'hectares, ce qui, compte tenu des obstacles qui freinent la diffusion des variétés améliorées dans les pays en développement, est assez remarquable.

Le maïs de demain

En schématisant, on peut dire que des potentialités de rendement ont été créées pour des variétés adaptées aux divers niveaux d'intensification existants, sauf dans le cas des hybrides. L'expression de ces potentialités dans des milieux variés reste à réaliser.

Les recherches se poursuivront donc en vue d'une meilleure utilisation des apports du milieu (efficience de la lumière, efficience de l'azote, tolérance à la sécheresse) ou d'une meilleure résistance aux perturbations (maladies, insectes, toxicité aluminique).

Les travaux sur la qualité du produit se développeront pour l'adapter aux exigences de l'utilisateur, que ce soit en alimentation humaine ou pour des usages industriels.

L'emploi des biotechnologies devrait connaître un réel essor. Le marquage moléculaire, qui permet l'étude de la diversité génétique et la sélection assistée par marqueurs, est d'ores et déjà utilisé pour localiser les gènes de résistance au virus du *streak,* aux insectes... Le transfert de gènes (introduction de gènes de résistance en particulier), la régénération de plants, l'haplométhode sont des techniques encore expérimentales.

Dans le domaine des semences, on peut penser que les semences artificielles verront bientôt le jour.

La grande inconnue reste le transfert et surtout l'utilisation de l'apomixie chez le maïs, sur laquelle travaille actuellement l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) au sein du CIMMYT.

Ces deux dernières innovations auront de fortes répercussions sur le travail du sélectionneur : il s'agira de repérer le meilleur individu et de le multiplier à l'identique. Le risque d'un appauvrissement génétique est certain, il faut s'y préparer. D'où l'importance croissante à accorder à la conservation et à l'exploitation systématique des ressources génétiques.

Le palmier à huile

Le palmier à huile cultivé, *Elaeis guineensis,* est une monocotylédone de la famille des arécacées. C'est un arbre monoïque dont le stipe peut atteindre 25 mètres. Il est allogame et se reproduit uniquement par graines. En plantation, sa durée de vie économique est de vingt-cinq ans.

Le principal produit est l'huile de palme, contenue dans le mésocarpe des fruits. L'huile de palmiste que renferme l'amande du fruit est considérée comme un sous-produit. C'est aujourd'hui l'oléagineux ayant la plus forte production d'huile par hectare puisqu'elle atteint couramment 6 t/ha dans de bonnes conditions de culture.

Le palmier à huile d'hier

Le palmier à huile est originaire de l'Afrique tropicale humide, et plus précisément de la zone qui borde le golfe de Guinée. On le trouve, à l'état sauvage, dans des associations de végétation primitive dans les galeries, le long des grands fleuves de l'Afrique de l'Ouest et du Centre.

Sa première migration importante hors de son aire d'origine a lieu, à partir du XVIe siècle, vers l'Amérique du Sud, dans la région de Bahia, où il se naturalise. Aujourd'hui encore il forme dans cette région des peuplements subspontanés.

Au XIXe siècle, quelques individus sont introduits en Asie dans un jardin botanique indonésien. Au début du XXe siècle, ils donneront naissance aux premières plantations. Jusqu'alors, le palmier à huile n'a été exploité que par cueillette.

En 1922, des plantations expérimentales sont mises en place au Zaïre avec du matériel provenant de prospections dans la cuvette congolaise, où les peuplements spontanés sont abondants. La recherche commence à se développer dans plusieurs pays d'Afrique et d'Extrême-Orient, tandis que les planteurs mettent au point des techniques rationnelles d'exploitation.

En 1942, on met en évidence le mode de contrôle génétique de l'épaisseur de la coque du fruit. On connaissait les trois types de palmier à huile : le *dura,* caractérisé par une coque épaisse, le *tenera,* ayant une coque fine et le *pisifera,* dépourvu de coque et présentant une forte stérilité femelle. La découverte de la nature hybride du *tenera,* qui est le plus productif, va être rapidement exploitée.

Au cours des années 50, une nouvelle étape de l'amélioration du palmier à huile est franchie avec la mise en évidence de la supériorité des croisements interorigines par rapport aux croisements intraorigines. L'expérience est réalisée à l'initiative de l'IRHO (Institut de

recherches pour les huiles et oléagineux, maintenant intégré au département des cultures pérennes du CIRAD) en Afrique et en Asie à partir de matériel végétal provenant de différents pays (Zaïre, Côte d'Ivoire, Bénin, Malaisie).

Le rendement du matériel sélectionné fait alors du palmier à huile une production intéressante, ce qui explique le développement spectaculaire de sa culture à partir des années 60.

Dès 1959, l'IRHO décide d'adopter un schéma de sélection récurrente réciproque pour le palmier à huile. Il vise à créer des hybrides entre écotypes non apparentés présentant des caractères complémentaires et s'appuie sur la maîtrise des techniques de fécondation dirigée. Chaque cycle dure de vingt à vingt-cinq ans et nécessite des surfaces expérimentales importantes. Un réseau informel de centres de recherche se partageant travaux et résultats ne tarde pas à se mettre en place.

Le principal critère de sélection est la productivité en huile de palme, mais de nombreux autres critères sont pris en compte, en particulier, la tolérance à la fusariose, qui sévit en Afrique. Un vaste programme est entrepris dès les années 60 pour identifier des sources de tolérance. La vitesse de croissance en hauteur devient un critère important en raison de son incidence sur les coûts et sur la durée d'exploitation. On étudie la variabilité de la composition de l'huile en acides gras ainsi que son taux d'insaturation, élément important de sa valeur marchande. Des essais sont mis en place pour évaluer la variabilité du comportement en condition de sécheresse.

Au début des années 80, le progrès réalisé sur le rendement en exploitant la supériorité des croisements interorigines et un cycle de sélection récurrente réciproque est de 20 à 25 %. Des sources de tolérance à la fusariose sont identifiées et la production de matériel végétal tolérant pour les zones à risque est bien établie. La vitesse de croissance en hauteur du matériel végétal est fortement réduite.

Le palmier à huile d'aujourd'hui

Le palmier à huile est cultivé dans l'ensemble de la zone tropicale humide. Les plantations couvrent une superficie de 4,5 millions d'hectares, dont 2,1 en Malaisie et 1,1 en Indonésie. Ces plantations sont majoritairement de type industriel, mais des plantations de quelques hectares à quelques centaines d'hectares se sont développées dans tous les pays producteurs.

La production mondiale d'huile de palme est de l'ordre de 14 millions de tonnes, dont près de 9 millions sont exportés; celle d'huile de palmiste est de 1,8 million de tonnes. Le palmier à huile fournit, à lui seul, 23 % de la production mondiale d'huiles végétales alimentaires.

A partir de 1980, on commence d'exploiter le deuxième cycle de sélection. Au milieu des années 90, le progrès réalisé sur la productivité depuis 1960 est de 35 à 40 %. La taille des palmiers a diminué de 15 à 20 %. Le niveau de tolérance à la fusariose du matériel diffusé pour les zones à risque est devenu suffisant pour éviter une incidence grave de la maladie. La teneur en acides gras insaturés de l'huile de certaines variétés a fortement progressé.

En raison de la complexité des techniques mises en œuvre pour obtenir des semences sélectionnées et certifiées, leur production est uniquement réalisée par les centres de recherche. Elles peuvent être stockées pendant trois ans et sont diffusées sous forme de graines à faire germer, prégermées ou germées.

Les plantations industrielles ou villageoises sont presque toujours réalisées avec du matériel amélioré.

L'un des événements majeurs de l'histoire de l'amélioration du palmier à huile intervient au début des années 80 avec la mise au point, par l'IRHO associé à l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération), de la micropropagation par embryogenèse somatique. L'enjeu est important puisque l'exploitation de la variabilité individuelle permet de gagner un cycle de sélection sur un caractère comme le rendement, et bien davantage pour d'autres caractères. Au milieu des années 80, un réseau de laboratoires s'installe en Afrique et Asie; 500 clones sont créés, 2 500 hectares plantés avec du matériel clonal. Les résultats de production confortent les estimations de progrès attendues, mais une anomalie de la morphogenèse florale affecte certains clones. Bien que le pourcentage de palmiers normaux soit de 95 %, la diffusion commerciale du matériel clonal ne peut être entreprise.

Le palmier à huile de demain

Le troisième cycle du schéma de sélection récurrente réciproque du palmier à huile commence d'être mis en place. Des progrès très importants sont attendus sur tous les caractères, car on regroupe et on combine les meilleurs parents de plusieurs programmes et la variabilité des populations de départ de ce cycle est plus importante que celle du cycle précédent. La productivité annuelle théorique est loin d'être atteinte, puisqu'elle est estimée à 12 t/ha d'huile dans de bonnes conditions de culture et qu'à l'heure actuelle on ne produit que 6 t/ha.

La productivité restera un critère prépondérant. Mais d'autres critères prendront de l'importance comme l'adaptation à la mécanisation de la récolte ou aux contraintes de l'environnement (sol, climat, maladies...). Il en sera de même, de façon tout à fait générale, des caractères permettant de réduire les coûts d'exploitation et d'augmenter la valeur marchande de l'huile.

Pour répondre à ces défis, la variabilité d'*E. guineensis* n'est pas suffisante, et il est apparu nécessaire de faire appel à une espèce voisine, originaire d'Amérique du Sud, *E. oleifera.* Cette espèce présente en effet des caractéristiques intéressantes telles qu'une croissance réduite, une huile riche en acides gras insaturés et une bonne tolérance à la pourriture du cœur. Certains écotypes de ce palmier sont de plus très tolérants à la fusariose. L'hybridation interspécifique, entreprise dès le début des années 70, a abouti à un hybride fortement stérile. Un programme de restauration de la fertilité par rétrocroisements est en cours. Les premiers rétrocroisements de seconde génération sont plantés et pourraient être exploités par clonage des individus intéressants.

Enfin, l'un des enjeux les plus importants est la micropropagation par embryogenèse somatique. On prépare la mise au point de tests de contrôle en laboratoire du matériel produit afin que cette technique devienne applicable à la production de matériel végétal commercialisable. Le procédé de micropropagation lui-même évolue pour produire en grande quantité et à moindre coût non plus des vitroplants mais des semences artificielles.

Le riz

Les riz cultivés sont des plantes monocotylédones, herbacées, annuelles, de la famille des poacées. Ce sont des plantes semi-aquatiques, en ce sens qu'elles tolèrent les conditions de culture aquatique mais n'en dépendent pas absolument. Leur génome est diploïde et leur mode de reproduction autogame.

Les riz cultivés appartiennent à deux espèces : *Oryza sativa,* originaire d'Asie et dont l'aire d'extension est mondiale, et *Oryza glaberrima,* originaire d'Afrique et dont l'expansion s'est limitée à ce continent.

Au sein de l'espèce *O. sativa,* on distingue deux groupes génétiques principaux : *indica* et *japonica.* On peut signaler également les groupes *aus,* en Inde, et *basmati,* au Pakistan, morphologiquement proches du type *indica.*

Le groupe *indica,* originaire du sud-ouest de l'Himalaya, se caractérise par un fort tallage, des feuilles étroites et des grains longs et minces. Les variétés de ce groupe sont adaptées à la culture aquatique en zone tropicale de basse altitude.

Le groupe *japonica,* originaire de l'est de l'Himalaya, possède trois types morphologiques.

Le type tempéré, *japonica* au sens strict, possède un tallage moyen, des feuilles fines, des grains arrondis et courts. Il correspond aux variétés de culture aquatique des régions subtropicales et tempérées.

Le type tropical, *javanica,* se distingue par un tallage réduit, des feuilles larges et des grains longs et larges. Les variétés de ce type se rencontrent en culture pluviale, dans les régions tropicales, mais aussi en culture aquatique, aux Etats-Unis.

Le troisième type, intermédiaire entre les deux précédents, est représenté par les variétés de culture aquatique des régions tropicales de haute altitude.

Le riz d'hier

Le riz est une des plus anciennes plantes vivrières cultivées. Sa domestication, qui remonte à plusieurs millénaires, s'est effectuée, en Asie pour *O. sativa,* à partir de formes annuelles d'*O. rufipogon,* et en Afrique pour *O. glaberrima,* à partir de l'espèce annuelle *O. breviligulata,* apparentée à *O. rufipogon.*

A partir de ses centres de domestication, *O. sativa* se propage rapidement vers la Chine, où sa culture est attestée environ trois millénaires avant notre ère. Il gagne ensuite l'ensemble de l'Asie. Son introduction dans les autres parties du monde est plus récente puisqu'elle a lieu au cours du dernier millénaire grâce à l'ouverture des grandes voies maritimes.

O. glaberrima reste quant à lui sur le continent africain, où il est supplanté progressivement par *O. sativa.*

Au cours de la dissémination d'*O. sativa* sur tous les continents, et malgré les croisements naturels, les types morphologiques *indica* et *japonica* se conservent. Cependant, on observe, en agriculture traditionnelle, un enrichissement des formes par sélection de caractères particuliers comme la couleur du grain ou la précocité.

La riziculture se développe dans des conditions où les adventices sont contrôlées et les sols fertiles : dans les bas-fonds pour la culture aquatique, sur brûlis de forêt pour la culture pluviale itinérante.

En culture aquatique, les rizicultures irriguées ou faiblement inondées dominent. Les rizicultures de mangrove ou sous forte inondation (riziculture flottante) ou encore de très haute altitude ont également leur importance. Du point de vue agronomique, les principales améliorations sont le contrôle de l'eau, le repiquage, la fertilisation et, plus récemment, la mécanisation et les traitements phytosanitaires. L'adoption de ces améliorations dépend largement du type de riziculture aquatique pratiqué.

En culture pluviale, le système itinérant sur brûlis de forêt évolue peu. En revanche, d'autres systèmes pionniers se développent : en intercalaire de jeunes plantations et en ouverture de pâturages, avec ou sans mécanisation. La fixation de la riziculture par son intégration dans des rotations et l'emploi d'engrais et d'herbicides permet son intensification.

Parallèlement à ces améliorations agronomiques, de nouvelles variétés adaptées à l'évolution des pratiques culturales sont sélectionnées. L'intensification de la culture commence dans les régions tempérées dès le début du XXe siècle et en zones tropicales dans les années 50. Elle va nécessiter des variétés de taille réduite et plus productives.

Pour les *japonica* tropicaux de culture aquatique développés aux Etats-Unis, l'hybridation avec des *japonica* tempérés est utilisée, dès 1930, pour la création variétale. Les variétés obtenues sont cultivées à partir de 1942 et remplacent progressivement les variétés anciennes issues de sélections.

Il en va de même, dans les années 50, pour les *japonica* tempérés cultivés en Asie (Chine du Nord, Corée, Japon) et en région méditerranéenne. Des variétés à haut rendement sont alors disponibles. Elles possèdent une taille moyenne (1 mètre).

L'amélioration continue de ces variétés de zones tempérées leur permet aujourd'hui d'atteindre des rendements potentiels de plus de 10 t/ha.

La situation est très différente pour les types de riz cultivés en zone tropicale.

Jusque dans les années 50, les variétés *indica* cultivées, en riziculture inondée ou irriguée, sont de type traditionnel ou proviennent de croisements entre variétés traditionnelles. Elles sont photosensibles et de haute taille (1,40 mètre). Leur rendement en grain est limité à 5 t/ha.

Les variétés *japonica* tropicales, cultivées en riziculture pluviale, sont elles aussi traditionnelles de haute taille (1,50 mètre). Elles sont peu sensibles à la photopériode et possèdent une résistance polygénique durable à la pyriculariose, maladie fongique majeure. Leur rendement en grain ne dépasse pas 3 t/ha.

Pour les riz *indica* tropicaux, un important programme d'amélioration est entrepris dans les années 50 par la FAO. Il vise à combiner les caractères d'adaptation de ces riz et la productivité des riz *japonica* tempérés. Mais, à part quelques rares cas, les formes inter-

médiaires ne sont pas trouvées à partir des croisements réalisés. Il ne subsiste de ce programme que quelques variétés, comme Mashuri.

C'est en 1965 que l'IRRI (International Rice Research Institute) sélectionne les premières variétés *indica* demi-naines (0,80 mètre), non photosensibles et à haut rendement. Ce programme utilise un mutant naturel *indica* demi-nain comme géniteur. Le potentiel de rendement de ces variétés approche les 8 t/ha. Leur amélioration continue (précocité, résistance aux maladies et aux insectes, qualité du grain) aboutit à un potentiel de rendement de 10 t/ha. Ces variétés sont à la base de la révolution verte dans de nombreux pays tropicaux d'Asie.

Pour les riz *japonica* tropicaux de culture pluviale, peu de recherches sont menées avant les années 60, excepté au Congo belge et au Brésil, où de nouvelles variétés, précoces, sont proposées. Le type morphologique de la plante reste cependant inchangé.

Il faut attendre les années 70 pour voir apparaître les premières variétés *japonica* pluviales de hauteur moyenne (1,10 mètre) obtenues soit par croisement entre des riz *japonica* pluviaux tropicaux et subtropicaux, soit par mutagenèse induite de *japonica* pluviaux. Ces variétés, sélectionnées et diffusées par l'IRAT (Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières, maintenant intégré au département des cultures annuelles du CIRAD), ont une meilleure réponse en grain à l'azote. Elles produisent jusqu'à 5 t/ha et conservent les caractéristiques de résistance (sécheresse, pyriculariose) des variétés traditionnelles.

On peut considérer qu'en 1975 une étape importante de l'évolution des riz cultivés est franchie : des variétés adaptées à la riziculture intensive sont alors disponibles pour la plupart des régions rizicoles et pour tous les types de riziculture.

Le riz d'aujourd'hui

Le riz est cultivé dans des conditions écologiques très diversifiées, de l'équateur jusqu'à la latitude de 50° N et à des altitudes de 0 à 2 000 mètres. Les systèmes de culture du riz sont toujours très variés.

Les surfaces rizicoles couvrent environ 150 millions d'hectares pour une production annuelle de 530 millions de tonnes de riz paddy, ce qui correspond à 320 millions de tonnes de riz blanchi. L'Asie fournit à elle seule 90 % de cette production.

Les nouvelles contraintes de la riziculture intensive (en particulier les attaques parasitaires) et du marché (demande de grains longs ou parfumés) sont à l'origine des nouvelles orientations de l'amélioration variétale. Celle-ci vise toujours l'augmentation de la productivité — la demande ne cesse d'augmenter avec la croissance démographique —, mais la résistance aux contraintes biotiques et abiotiques et la qualité du produit sont de plus en plus prises en compte.

Des besoins spécifiques apparaissent. C'est ainsi qu'on s'oriente vers une diversification des types variétaux en fonction du niveau d'intensification pratiqué, de l'environnement physique de la culture, de l'altitude notamment, et de la disponibilité des ressources hydriques (gestion économe de l'eau dans le cas des variétés aquatiques).

On peut citer, dans ce cadre, les premières variétés de riz pluvial adaptées à des altitudes supérieures à 1 000 mètres. Créées en 1990 par le CIRAD, elles sont issues de croisements entre des riz *japonica* pluviaux ou entre *japonica* pluviaux et *japonica* de haute altitude. Elles sont cultivées jusqu'à 1 500 mètres d'altitude à Madagascar avec des rendements de 5 t/ha, alors qu'auparavant, dans ces conditions, on ne dépassait pas 1 t/ha.

La majorité des variétés sélectionnées reste des lignées pures. Les hybridations sont généralement réalisées à l'intérieur d'un groupe génétique, mais on utilise de plus en plus des variétés « ponts » pour effectuer des croisements intergroupes. Les marqueurs génétiques, grâce à une meilleure évaluation de la distance entre géniteurs potentiels, permettent d'orienter ces croisements.

L'haplométhode est utilisée en routine pour fixer rapidement les lignées et la mutagenèse continue d'être pratiquée. Le génotype *japonica* se prête bien à ces deux techniques.

Mais d'autres techniques d'amélioration sont aujourd'hui exploitées. La sélection récurrente, multicaractères ou pour des caractères précis (résistance à la pyriculariose ou à la submersion), commence à être pratiquée. Des travaux sur la transformation génétique sont en cours pour la résistance aux herbicides ou aux insectes.

D'autre part, faisant suite au succès de l'expérience chinoise, des travaux de sélection de riz hybrides sont menés dans plusieurs pays, dont l'Inde, les Etats-Unis, le Japon et le Brésil. Dans ce dernier pays, les recherches sont conduites en collaboration avec le CIRAD.

Actuellement, les riz hybrides couvrent un tiers des surfaces rizicoles en Chine avec des rendements de 20 à 30 % supérieurs à ceux des autres variétés.

L'adoption des variétés sélectionnées est, en premier lieu, fonction du contexte économique. L'existence d'un marché favorise l'utilisation de variétés plus productives, susceptibles de fournir un surplus commercialisable, ou de variétés dont les qualités du grain répondent aux exigences de nouveaux marchés. D'autre part, l'accès à des techniques culturales plus élaborées, comme c'est le cas dans les périmètres irrigués ou les zones pionnières, permet également le développement des variétés améliorées, mieux adaptées à ces systèmes de production.

Toutefois, lorsque les améliorations répondent à un besoin réel des agriculteurs (meilleure qualité du grain, précocité...), les variétés proposées sont facilement adoptées.

Le paysage rizicole est aujourd'hui très diversifié. Cette situation résulte, à la fois, de l'importance du riz dans l'alimentation humaine et du potentiel génétique de l'espèce. Celui-ci recèle encore bien des richesses exploitables.

Le riz de demain

La demande de riz va augmenter dans les années à venir pour satisfaire aux besoins d'une population en croissance rapide : la production de riz paddy devrait atteindre 625 millions de tonnes au début du XXIe siècle, soit une augmentation de 100 millions de tonnes en dix ans.

Pour répondre à cette demande, deux voies complémentaires sont proposées.

L'une consiste à élever les rendements à l'hectare de la riziculture irriguée, qui fournit déjà la majeure partie de la production mondiale. L'IRRI travaille actuellement sur un nouvel idéotype de plante à tallage modéré mais totalement fructifère et à panicules très fournies à partir de croisements entre *indica* et *japonica* tropical. L'objectif est d'atteindre un potentiel de rendement de 15 t/ha.

L'autre voie, développée entre autres par le CIRAD, vise à favoriser une diversification des systèmes de production, en particulier en développant la riziculture pluviale. Les agronomes constatent, en effet, que les progrès actuels du riz pluvial sont comparables à ceux que le blé a connus avec quelques décennies d'avance.

L'amélioration du riz passe par une exploitation plus systématique de la variabilité génétique disponible et par le perfectionnement des méthodes et des outils du sélectionneur.

L'analyse de l'organisation génétique de l'espèce permet déjà une exploration plus rationnelle et plus systématique des combinaisons intra et intergroupes. La cartographie de son génome est en cours et débouchera sur l'utilisation de la sélection assistée par marqueurs et le clonage de gènes importants (dont le produit est jusqu'à présent inconnu), tels que les gènes de résistance à *Magnaporthe grisea* et *Xanthomonas* sp., par marche sur le chromosome.

L'utilisation de la transformation génétique devrait apporter rapidement des résultats dans la protection des cultures contre les insectes, les virus et les champignons. A plus long terme, elle permettra de manipuler des caractères plus complexes comme les résistances aux agressions abiotiques et l'architecture de la plante.

Mais des progrès très importants sont également attendus de la démarche multidisciplinaire dans les domaines de la connaissance de la plante et de l'utilisation du grain.

Les études sur la pathologie, l'entomologie et la physiologie du riz permettront de mieux comprendre, et ainsi de mieux maîtriser, le comportement de la plante face aux contraintes biotiques et abiotiques (température, régime hydrique, salinité ou acidité des sols...).

Les travaux en technologie du riz aboutiront à une diversification des produits issus de la transformation industrielle.

Le sorgho

Le sorgho, *Sorghum bicolor,* est une monocotylédone originaire d'Afrique. Elle est répandue dans l'ensemble de la zone tropicale et déborde largement dans les régions tempérées. C'est une plante herbacée annuelle diploïde de la famille des poacées. Sa reproduction est préférentiellement autogame.

Le sorgho d'hier

La domestication du sorgho, très ancienne, se serait déroulée en deux phases. Dans un premier temps, un sorgho primitif de type *bicolor* aurait été domestiqué en bordure du Sahara. Puis, les autres races auraient été sélectionnées indépendamment dans diverses régions d'Afrique.

A partir de ces centres de diversification, le sorgho atteint l'Asie par la voie maritime avant notre ère. Il gagne ensuite l'Europe puis l'Amérique du Nord à la fin du XIXe siècle et, enfin, l'Amérique du Sud.

Les nombreuses variétés tropicales sont classées en cinq races principales, d'après les caractéristiques de la panicule et de l'épillet, et leur région de culture.

Les *bicolor* sont les sorghos aux caractères les plus primitifs. On les trouve en Asie mais aussi dans toute l'Afrique. Leur panicule est lâche et leur grain petit.

Les *guinea* sont les sorghos typiques de l'Afrique de l'Ouest. Ils sont généralement grands et photosensibles avec une panicule lâche.

Les *durra* se rencontrent essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen-Orient et en Inde. Ils ont une panicule très compacte.

Les *caudatum* sont surtout cultivés en Afrique du Centre et de l'Est. Leur panicule a une forme variable. Ils sont généralement à l'origine des sorghos cultivés en régions tempérées.

Les *kafir* sont répandus en Afrique du Sud. Ce sont des sorghos de petite taille et leur panicule est compacte et cylindrique.

Les sorghos sont cultivés en saison des pluies, mais peuvent également faire l'objet d'une culture de saison sèche, la culture de décrue. C'est le cas des *muskwari* du Cameroun. Ils peuvent être cultivés avec irrigation, mais cette pratique est rare en milieu tropical.

En Afrique, les premières sélections consistent en une simple collecte d'écotypes, suivie de leur évaluation. Les meilleurs écotypes sont proposés aux paysans, et souvent bien acceptés car proches des variétés habituelles. Mais leur amélioration, par sélection mas-

sale ou par croisement entre variétés de même race puis sélection généalogique, ne permet que des progrès limités.

En vue d'une intensification de la culture, trois voies sont explorées.

L'introduction d'autres races de sorghos est utilisée en Afrique de l'Ouest. Les *guinea* y ont des potentialités de rendement réduites et des *caudatum,* non photosensibles et plus productifs, sont introduits à grande échelle. Les variétés productives ainsi proposées sont cependant mal acceptées par les paysans en raison de leur sensibilité aux moisissures des grains et de leur médiocre aptitude aux transformations culinaires traditionnelles.

La création d'hybrides permet de tirer parti de l'effet d'hétérosis, et donc de proposer des formules possédant de fortes potentialités de rendement. Ce type variétal, qui est de règle en milieu tempéré et dans les exploitations mécanisées d'Amérique latine, est peu utilisé en Afrique, où la culture du sorgho est rarement intensive.

Les croisements suivis de sélection généalogique sont largement utilisés, que ce soit pour tenter de combiner les qualités des deux parents ou pour transférer certains caractères d'une variété vers une autre. Si le transfert de gènes de nanisme est un succès, et permet d'obtenir des variétés *guinea* de taille réduite, les descendances des croisements entre *guinea* et *caudatum* n'ont pas abouti aux résultats espérés, en particulier en matière de qualité du grain, caractère primordial en alimentation humaine.

Le sorgho d'aujourd'hui

Le sorgho est cultivé dans le monde sur environ 50 millions d'hectares, avec une production, en 1993-1994, de 53 millions de tonnes. L'Afrique et l'Inde cultivent environ 30 millions d'hectares, mais ne produisent que 24 millions de tonnes, avec un rendement moyen d'environ 0,8 t/ha, alors qu'il est de 4 t/ha aux Etats-Unis, premier producteur mondial.

En Amérique et en Chine, le recours aux hybrides est systématique et le sorgho utilisé en alimentation animale. En revanche, les paysans africains et indiens cultivent majoritairement des variétés traditionnelles destinées à l'alimentation humaine. Cette situation est due, d'une part, aux techniques culturales peu intensives pratiquées, techniques qui ne justifient pas un recours aux variétés améliorées, et, d'autre part, au fait que les variétés améliorées présentent de graves défauts. La qualité de leur grain répond rarement aux exigences des consommateurs (cela est moins vrai pour la fabrication de bière de sorgho, l'un des débouchés importants de cette culture) et, de plus, les sources de résistance aux agents pathogènes sont rares (en particulier pour la moisissure des grains).

Le sorgho de demain

La création d'hybrides pour des conditions de culture intensive se poursuivra sans que l'on puisse imaginer de révolution.

Pour les paysans d'Afrique et d'Asie, on peut penser que le sorgho restera une céréale largement consommée par l'homme et cultivée de façon extensive ou peu intensive. L'échec des variétés améliorées actuelles a fait prendre conscience aux sélectionneurs de l'importance à accorder à la qualité du grain — les critères techniques et génétiques de cette qualité sont de mieux en mieux établis —, à la photosensibilité — gage de souplesse dans les calendriers culturaux et de qualité sanitaire des grains — et aux tolé-

rances aux stress biotiques (foreurs des tiges, punaises des panicules, moisissures des grains, *Striga*).

Plus que pour de hautes potentialités de rendement, le sorgho tropical sera amélioré pour obtenir une production régulière et stable, avec des rendements moyens mais adaptés aux systèmes de culture envisagés. De taille réduite — 2,5 à 3 mètres paraît un objectif raisonnable —, le sorgho sera sans doute photosensible ou montrera une bonne tolérance aux moisissures des grains. Il possédera une résistance satisfaisante aux insectes et au *Striga*. La qualité de son grain répondra aux attentes des consommateurs et des industriels.

Pas de révolution, donc, mais des variétés répondant mieux aux besoins des producteurs comme des utilisateurs.

Collection Notes et Documents

1 La production agricole « reproductible »
Dossier préparé par René Tourte

2 Comment écrire pour les anglophones
Jacques Bertrand

3 La gestion des entreprises de recherche agronomique
Dossier préparé par René Tourte

4 Economie opérationnelle et politiques agricoles au CIRAD
Michel Griffon

5 Quel long terme pour la production agricole en Afrique au sud du Sahara ?
Les idées de Carl K. Eicher
Dossier préparé par René Tourte

6 La recherche agricole au Sénégal et la Banque mondiale
Dossier préparé par René Tourte

7 Bases de données et systèmes experts
Jean-Claude Bergonzini,
Jean-François Foucher, Benoît Girardot

8 Quelques réflexions sur la recherche agronomique en Afrique
Hervé Bichat

9 Prospective des déséquilibres mondiaux : la filière agroalimentaire et agro-industrielle
Michel Griffon

10 La politique de communication du CIRAD
Stratégie et programme d'action pour 1992-1995

11 La croissance agricole en Asie et en Afrique
Démographie, urbanisation, pauvreté, interactions avec l'environnement
John W. Mellor
Suivi du texte original en anglais

12 Recherche, développement et expérimentation dans les départements d'outre-mer
Michel Gervais

13 Contrats et pôles de recherche en coopération
Des instruments de partenariat pour le CIRAD

14 Pour un nouveau dynamisme des systèmes de recherche nationaux et internationaux
Carl K. Eicher
Suivi du texte original en anglais

15 Les principes généraux d'organisation du CIRAD
Conseil d'administration
du 2 décembre 1992

16 Quelles stratégies pour les agricultures en Afrique subsaharienne ?

17 Prix alimentaires domestiques et stratégie de croissance
Le cas des économies semi-ouvertes de l'Afrique de l'Ouest
Christopher Delgado
Suivi du texte original en anglais

18 Quels principes de gestion pour les forêts tropicales ?

19 Prospective et options stratégiques pour le CIRAD
Rapport du groupe prospective
et stratégie

**Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement**

42, rue Scheffer
75116 Paris
France