

QUELLES APPROCHES POUR LES PAYS TROPICAUX ?

Bernard MARIN* et Maurice RAIMBAULT*

Les biotechnologies végétales suscitent de nombreux espoirs dans les pays tropicaux. S'il faut éviter de se leurrer sur leur impact dans les pays du Sud, les applications auxquelles elles donnent déjà lieu et les nombreux travaux en cours montrent qu'elles peuvent contribuer au développement de l'agriculture de ces pays en permettant une meilleure gestion de la biomasse agricole.

La plus grande partie de la biomasse (1) végétale de notre planète est produite dans les zones tropicales et équatoriales où les espèces qui la composent disposent des conditions optimales pour leur croissance. Par exemple, dans la forêt amazonienne tropicale humide, la biomasse végétale est estimée à 990 tonnes par hectare. Toutes strates confondues, on y trouverait plus de 500 espèces sur une parcelle expérimentale de 0,2 hectare (2). À une époque où les ressources agricoles semblaient fort limitées par rapport à leur développement démographique et à leur croissance industrielle, la richesse des régions tropicales a conduit les pays industrialisés à les exploiter. Il en a résulté un essor de l'agriculture tropicale (toujours d'actualité) et une expansion des surfaces cultivées. Celles-ci sont surtout orientées vers des cultures de rente (3) telles que celles du caféier, du bananier, de l'arachide ou de la canne à sucre. En ce qui concerne les cultures vivrières (maïs, millet, manioc, niébé, sorgho ou haricot), le riz et le blé se substituent de plus en plus aux céréales traditionnelles (4) (voir tableau).

Un énorme potentiel

L'une des grandes richesses du monde tropical est son extrême diversité biologique (5, 6, 7, 8). Mais si, dans le contexte actuel caractérisé par des interventions mal contrôlées de

l'homme sur le milieu, les mesures indispensables pour conserver ces ressources naturelles dans leur ensemble ne sont pas prises, on perdra chaque jour un peu plus de cette biodiversité. Alors que déjà de nombreuses espèces végétales sont perdues à jamais, il ne faut pas considérer l'agrobiomasse isolément, mais prendre aussi en compte la biodiversité de la flore, de la faune et de la microflore, toutes aussi importantes et interdépendantes.

Grâce à ce patrimoine génétique extraordinaire qu'est la biomasse tropicale, les pays du Sud possèdent tout un ensemble de ressources phytogénétiques disponibles pour l'améliora-

tion de nombreuses variétés de plantes cultivées ou pour l'élaboration de nouveaux cultivars. Les exemples sont nombreux, tel celui du caféier. Des plantations polyclonales ont été constituées à partir des hybrides du groupe *Congusta* (*Coffea congestis*) et de l'espèce *Coffea canephora* (6). Une stratégie de même nature a été développée pour le palmier à huile. Les plantes issues du croisement entre l'espèce africaine *Elaeis guineensis* et l'espèce américaine *Elaeis malanococca* présentent des caractéristiques agronomiques exceptionnelles (5).

Pourtant, le développement de l'agriculture tropicale se heurte à de nombreuses difficultés.

* Laboratoire de biotechnologie, physiologie et métabolisme cellulaires, Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1.

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble du personnel du laboratoire pour sa contribution à l'élaboration de cet article.

(1) Le vocable « biomasse » sous-tend une définition issue des différents chocs pétroliers. Dans la plupart des cas, il s'agit de l'ensemble des organismes vivants et de leurs produits ou dérivés dans un milieu. Souvent, cette biomasse se réduit aux produits végétaux et aux déchets organiques valorisables à des fins énergétiques voire chimiques. Cet article est, quant à lui, centré sur les dérivés des produits de la biomasse agricole ou « agrobiomasse ».

(2) FB Golley & E Medina (1975) *Tropical ecological systems trends in terrestrial and aquatic research*. Springer-Verlag, Berlin, 398 p.

(3) Cultures dites de « rente » car elles assurent un revenu et procurent des devises à ces pays.

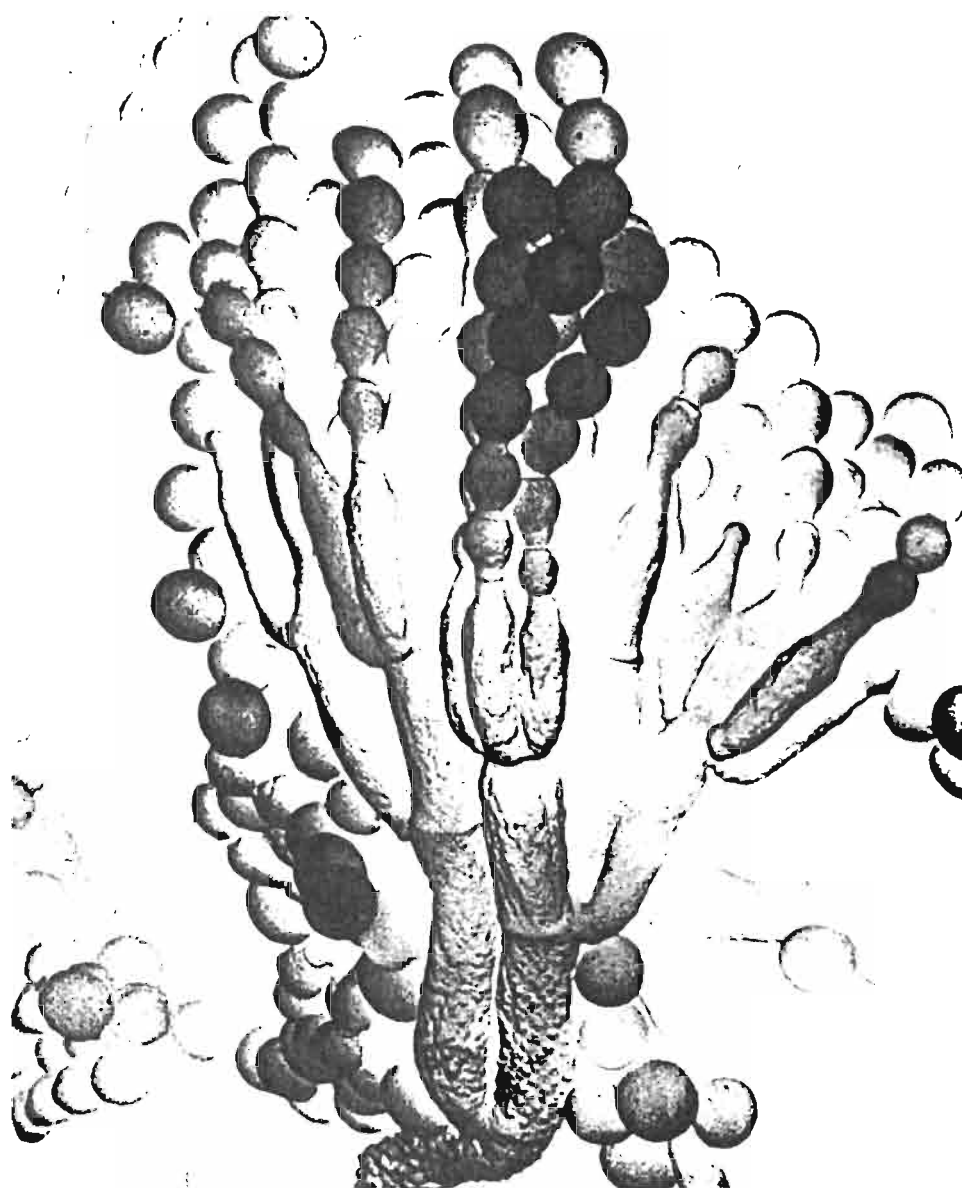
(4) Rapport CCE (1988) *Le dialogue Europe-Sud sur le terrain*. Éditions de la CCE, Luxembourg, 120 p.

(5) A Sasson (1988) *Biotechnologie et développement*. Unesco/CTA, 361 p.

(6) G Ducreux & L Rossignol (1989) Actes du Colloque sur les apports de la biologie végétale en régions tropicales (16-18 novembre 1988, Orsay, France). *Bull Soc Bot* 136, 1-27.

(7) Actes du Colloque international sur les complexes d'espèces, le flux de gènes et les ressources génétiques (8-10 janvier 1992, Paris, France), 122 p.

(8) C Nouaille (1992) La diversité génétique : terre à l'abandon ou continent à découvrir ? *Biofutur* 97, 22-41.



Appareil reproducteur d'*Aspergillus roquefortii* (en microscopie électronique), champignon dégradant la caféine de la pulpe de café (S Roussos, Orstom).

La plupart des pays du Sud possèdent une population essentiellement agricole (9) qui se trouve confrontée aux problèmes posés par l'exploitation de sols relativement pauvres. Ces problèmes sont accentués par une déforestation de plus en plus importante, une érosion accélérée, une augmentation de la salinité et de l'alcalinité du sol provoquée par l'emploi inadapté de fertilisants et de pesticides chimiques, et par une urbanisation croissante laissant à l'abandon les terres potentiellement cultivables (10, 11). Une bonne utilisation des technologies actuelles doit permettre de répondre en partie à ces préoccupations spécifiques du monde tropical.

Des opportunités nouvelles

De grands espoirs reposent aujourd'hui sur les applications des biotechnologies végétales en milieu tropical: conservation des ressources végétales, sélection des cultivars adaptés aux conditions édaphiques, augmentation de la productivité, amélioration des rendements, valorisation des sous-produits... De nombreux programmes, financés par des organismes internationaux, sont en cours (12, 13).

Les techniques auxquelles donnent lieu les biotechnologies végétales font appel à des savoir-faire plus ou moins sophistiqués (14, 15).

LA DIVERSITÉ DES PRODUCTIONS TROPICALES

Plantes	Produits	Sous-produits
Canne à sucre	Sucre, sirops, alcool	Bagasse, pulpes, mélasse, effluents
Manioc, plantain, patates douces, sagou	Amidon, aliments, farines	Déchets, peaux, fibres, effluents
Café, cacao, poivre, théier	Café, cacao, épices, condiments	Pulpes, feuilles, fibres
Coton, agaves, graminées, tabac, sisal, jute	Coton, tabac, textiles, cellulose, fourrages	Feuilles, fibres, effluents
Riz, maïs, mil, sorgho, millet, niébé, haricot	Aliments, farines	Pailles, fannes, sons
Soja, arachide, palmier, olivier, cocotier	Huiles, margarines	Tourteaux, effluents, coques, margines
Hévéas, eucalyptus, teck	Caoutchouc naturel, bois de construction, bois précieux	Lignine, fibres, feuilles, effluents
Bananier, ananas, agrumes, passiflores	Banane, ananas, citrons, oranges, fruits de la passion	Peaux, drèches, pulpes, écarts de triages

(9) T Thiombiano (1990) Portées des recherches en économie agroalimentaire pour les pays en développement. *Actes des 5^{es} Rencontres internationales Agropolis: semaine internationale de l'alimentation, de la nutrition et de l'agro-industrie* (4-7 décembre 1990, Le Corum, Montpellier, France), p 13-25. Association Montpellier LR Technopole et association journées internationales Agropolis et Ciresa, Montpellier.

(10) S Jacobsson, A Jamison & H Rothman (1986) *The biotechnological challenge*. Cambridge University Press, Cambridge, 181 p.

(11) AJ Hacking (1985) *Economic aspects of biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge, 306 p.

(12) B Sorj, M Cantley & K Simpson (1989) *Biotechnology in Europe and Latin America: prospects for co-operation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 233 p.

(13) A Sasson & V Costarini (1990) *Plant biotechnologies for developing countries*. CTA/FAO, Rome, 368 p.

(14) G Gherzi & A Bencharif (1990) Recherches technologiques et stratégies agroalimentaires. *Actes des 5^{es} Rencontres internationales Agropolis: semaine internationale de l'alimentation, de la nutrition et de l'agro-industrie*, p 26-44.

(15) Rapport 1990 du Conseil mondial de l'alimentation (21-24 mai 1990, Bangkok, Thaïlande).

Certaines, qui ne nécessitent pas d'investissements importants, sont disponibles immédiatement. L'application la plus évidente des biotechnologies végétales concerne la propagation végétative et l'obtention de variétés et de clones libres de tout agent pathogène. Ces techniques sont d'ores et déjà appliquées au niveau commercial, en particulier dans le domaine de la culture florale (16).

À mesure que la connaissance progresse autant dans le domaine floristique que dans le domaine de la pharmacopée locale, il se développe également toute une stratégie liée aux plantes médicinales (17), la plupart des principes actifs de la pharmacopée moderne provenant de plantes tropicales. Ainsi, de nombreux travaux concernent la production de métabolites secondaires à partir de suspensions cellulaires végétales obtenues à partir de ces plantes (18).

À court terme, la conservation du matériel végétal *in vitro* peut se révéler très utile pour le maintien des génotypes, spécialement quand il existe des problèmes de viabilité des graines (le cas de l'*Hevea* étant remarquable à ce propos) et pour les espèces menacées (les espèces sauvages tropicales indispensables pour assurer l'amélioration des cultivars actuels employés dans l'agriculture industrielle). Plusieurs organismes à vocation internationale, tels l'Orstom et le Cirad, se sont investis dans ce domaine. À plus long terme, l'établissement de banques de génotypes, modifiés ou non, est également très important pour ces régions (13).

Actuellement, la plupart des méthodes sont abordées avec succès dans les grands centres internationaux de recherche. L'Irri (Internatio-



Bactéries lactiques cultivées sur broyats de racines de manioc, microscopie électronique à balayage x 7000 (E Giraud, Orstom).

nal Rice Research Institute, Manille, Philippines) a par exemple développé un important programme sur le riz. De nombreux autres organismes utilisent en routine la plupart des techniques relevant de la biologie moléculaire. Les techniques de clonage sont à l'origine de nombreux succès, certains transferts de gène de résistance sont étudiés avec la même efficacité et d'importants travaux portant sur la lutte biologique sont décrits.

D'autres applications des biotechnologies – traitement et valorisation des sous-produits, substitution des spécialités agrochimiques par des biofertilisants et des biopesticides, mise au point de nouveaux systèmes de diagnostic – sont également développées.

Les apports de la microbiologie

Les pays du Sud utilisent les techniques microbiologiques depuis fort longtemps (19). Ils ont su bénéficier des progrès en ce domaine et faire passer ces techniques du stade artisanal à celui de la mise en œuvre de procédés industriels performants.

La défense des cultures

Une des formes les plus classiques de la défense des cultures est l'emploi de pesticides chimiques. La plupart du temps, ils produisent des effets négatifs sur la santé humaine. Ils menacent l'équilibre écologique des sols et des eaux. Leur utilisation abusive et incontrôlée est à l'origine de nombreux problèmes (pollution des nappes phréatiques, alcalinisation des sols et amorces de désertification des terres devenues cultivables). La production et l'emploi de

biopesticides visent à remplacer certains de ces composés chimiques. Les parasites naturels de la plupart des agents pathogènes recensés (virus, bactéries et champignons) permettent de mettre en place des protocoles efficaces de lutte biologique (19, 20). Les baculovirus sont efficaces sur les larves de *Spodoptera exempta* connu pour ses ravages sur le cotonnier. Les spores de *Verticillium lecanii* se développent particulièrement bien sur les cadavres de nombreux aphides dévastateurs de cultures tropicales. *Bacillus thuringiensis* produit une toxine spécifique de certains insectes ravageurs, notamment de nombreux lépidoptères. Les champignons *Beauveria bassiana* et *Metharizium* sp sont des parasites naturels de la plupart des insectes nuisibles trouvés dans les cultures tropicales. Ces biopesticides, déclarés totalement inoffensifs pour l'homme et pour les animaux, peuvent être utilisés à n'importe quel moment. De plus, ils s'avèrent moins coûteux que les pesticides chimiques surtout s'ils sont produits localement. Cependant, beaucoup d'études restent encore à faire quant à leur efficacité et surtout leur mode d'emploi.

La fertilisation des sols

Sur les sols relativement pauvres des pays du Sud, la nécessité d'apporter des fertilisants azotés est impérieuse mais, également, fort coûteuse. Il en a résulté une stratégie du mode culturel employant des systèmes biologiques, symbiotiques ou non, fixant l'azote (21).

L'emploi d'*Azolla* s'est révélé particulièrement efficace comme fertilisant biologique pour la culture du riz. Les rizières inondées s'avèrent un environnement particulièrement favorable au développement de cette cyanobactérie fixatrice d'azote. Les possibilités d'utilisation et l'intérêt agronomique de cette fixation d'azote dépendent au moins de quatre facteurs : la potentialité absolue (représentée par la quantité d'azote fixée par hectare et par an), la facilité d'établissement du système biologique le fixant, les intrants nécessaires pour la production d'azote fixé et sa mise à disposition pour la plante hôte, et la superficie totale des surfaces cultivées (ou cultivables). L'expérience montre qu'*Azolla* a un potentiel agronomique de l'ordre de 30 kg d'azote fixé par hectare et par cycle culturel. De plus, cette bactérie n'entre pas en compétition avec le riz pour l'utilisation du sol et de l'eau d'irrigation, et son utilisation ne nécessite aucun enfouissement. D'où

(16) A Sasson (1992) La micropropagation des plantes : réalité et priorité. *Biofutur* 111, 34-38.

(17) B Marin (1987) Apports de la physiologie cellulaire végétale aux programmes de recherche pour le développement. Rapport Orstom, 46 p.

(18) AJ Parr (1988) Secondary products from plant cell culture. *Adv Biotechnol Proc* 9, 1-34.

(19) HD Burges & JS Pillai (1987) Microbial bioinsecticides. EJ Da Silva, YR Dommergues, EJ Nyns & C Ratledge (eds). *Microbial technology in the developing world*. Oxford University Press, Oxford, p 121-150.

(20) J Rajinichapel-Messaï (1990) Les biopesticides. *Biofutur* 92, 23-34.

(21) BL Dreyfus, HG Diem, J Freire, SO Keya & YR Dommergues (1987) Nitrogen fixation in tropical agriculture and forestry. EJ Da Silva, YR Dommergues, EJ Nyns & C Ratledge (eds). *Microbial technology in the developing world*. Oxford University Press, Oxford, p 7-50.

de larges possibilités d'utilisation dans des sols faiblement acides à faiblement alcalins.

Parmi les autres systèmes fixateurs d'azote, une mention toute particulière peut être formulée pour les symbioses associant différentes espèces bactériennes de *Rhizobium* à différentes plantes hôtes. Des arbres tropicaux de la famille des légumineuses comme *Acacia albida*, *Dalbergia melanoxylon* ou *Prosopis africana* nodulent exclusivement avec les *Bradyrhizobium*. D'autres arbres comme *Acacia nilotica* ou encore ceux du genre *Sesbania* ne le peuvent qu'avec les *Rhizobium*. Après son cycle de végétation, *Sesbania rostrata* peut être utilisé comme engrais vert après enfouissement dans le sol. Ce type d'association symbiotique permet de résoudre en partie les problèmes liés à l'apport d'azote en utilisant des inoculum bactériens naturels. La tendance actuelle est de produire industriellement, dans leur propre environnement, les inoculum spécifiques de chaque culture. Ces techniques sont d'ores et déjà largement développées au Brésil pour la culture du soja.

Les techniques microbiologiques donnent lieu à de nombreuses autres applications. Elles

ont l'avantage d'être d'un emploi ne nécessitant pas d'investissements particulièrement importants. Ainsi, la gestion des systèmes microbiens des lagunes offre des solutions aptes à résoudre de nombreux problèmes posés par la malnutrition dans les pays du Sud, et la digestion anaérobie a des applications intéressantes dans le traitement de certains effluents agro-industriels.

La valorisation des sous-produits

Les pays du Sud se sont engagés dans un processus d'exploitation directe de leurs productions végétales (22). Toutefois, les moyens dont ils disposent sont souvent fort limités. Ils se heurtent à tout un ensemble de problèmes techniques souvent liés à un environnement climatique chaud et humide particulièrement contraignant. Il en résulte notamment une altération particulièrement rapide des produits récoltés.

De par leur nature même, les cultures industrielles produisent d'énormes quantités de déchets et de sous-produits qu'il conviendrait de valoriser. Dans la plupart des cas, ces sous-produits agricoles sont abandonnés. Ils pourrissent rapidement. Dès lors, ils sont à l'origine d'une contamination non négligeable de l'environnement et les effluents menacent localement les équilibres biologiques. Cette pollution pourrait être traitée par un génie fermentaire adéquat et une stratégie de bioconversion rationnelle. La dégradation et la valorisation des résidus de récolte, la dégradation des pesticides et de tout autre polluant sont de plus en plus à l'ordre du jour. Une solution réside dans l'emploi des systèmes fermentaires en milieu solide.

Les fermentations en milieu solide s'avèrent un ensemble de procédés offrant d'excellentes perspectives pour valoriser au mieux de nombreux produits et sous-produits agricoles (farine de manioc, écarts de bananes, cossettes de betterave, bagasse de canne à sucre). Elles présentent l'avantage de ne générer que de faibles quantités d'effluents liquides (23). Ces possibilités résultent en partie d'un approfondissement des connaissances sur les cultures des champignons filamenteux en phase solide. Leur physiologie et leur biochimie sont particulièrement bien connues. Les caractéristiques de leur croissance ont été corrélées à l'activité de l'eau, aux transferts de masse et de chaleur du milieu.

Différents types de réacteurs ont été ainsi conçus en tenant compte de tout cet acquis. Les

résultats obtenus en laboratoire ont été reproduits à l'échelle du semi-pilote, voire du pilote pour certains prototypes (agités ou statiques). Cela a impliqué, parallèlement, des études sur la physiologie de la sporulation et la production de spores en conditions contrôlées.

Par exemple, la canne à sucre est utilisée traditionnellement pour la fabrication du sucre. Mais, pour chaque tonne broyée, on obtient 90 kg de sucre et 250 kg de bagasse (24). Le saccharose ne représente finalement que 12 à 15% de l'agrobiomasse produite. La bagasse, sous-produit agricole tropical essentiellement cellulosique, est utilisée comme source d'énergie ou comme matière première dans l'industrie papetière. Les procédés de fermentation solide développés apportent des solutions intéressantes. Ainsi, la bagasse additionnée de mélasse (deux sous-produits de l'industrie sucrière) et ensilée en présence de bactéries lactiques conduit à un produit qui constitue un fourrage de qualité acceptable pour le bétail. Elle peut être aussi utilisée pour la production d'alcool combustible (voir encadré 1) ou comme support solide pour la culture et la production de champignons filamenteux. Selon la nature du champignon et les conditions de culture employées, elle permettra la biosynthèse de nouveaux produits de grande consommation, voire économiquement importants (voir encadrés 2, 3, 4).

La pulpe de café, actuellement non valorisée, représente plus de la moitié de la biomasse produite par la culture du caféier. De nombreux travaux sont entrepris sur sa détoxification (25) (voir encadré 5). L'utilisation rationnelle de la pulpe de café ensilée peut ainsi conduire à de nombreux produits (voir figure). L'ensilage lactique permettra notamment de stabiliser cette biomasse pendant l'époque de la cueillette et du séchage du café. Par la suite, la main-d'œuvre disponible pourrait se consacrer à son

ENCADRÉ 1 - LA PRODUCTION D'ALCOOL À PARTIR DE SUBSTRATS AMYLACÉS

Au cours de ces dernières années, *Schwanniomycetes castellii*, levure amylolytique à capacité fermentaire, est apparue comme l'une des meilleures alternatives à l'emploi de *Saccharomyces* spp, classiquement utilisées pour la production d'éthanol à partir de substrats amylacés. Elle présente des avantages pratiques et économiques: absence d'une hydrolyse préalable de l'amidon et caractère homo-fermentaire de la culture.

Un nouveau système de fermentation solide/extraction, permettant d'assurer la conversion directe de l'amidon en éthanol, a été développé. La culture de la levure est réalisée sur bagasse de canne à sucre imprégnée d'un milieu à base d'amidon. La croissance fermentaire est suivie par chromatographie en phase gazeuse, tandis que l'alcool est piégé en continu dans un condenseur placé à la sortie du bioréacteur, lors de la circulation des gaz. Ce piégeage permet de surmonter la faible tolérance à l'alcool de *S. castellii*. Le procédé autorise la réalisation, dans un seul fermenteur, des trois étapes nécessaires à la bioconversion de l'amidon en alcool. On peut ainsi obtenir des condensats alcool-eau à des concentrations de l'ordre de 200 g/l. Le rendement global est de l'ordre de 60 à 65% par rapport au taux de conversion théorique.

Contact: Gerardo SAUCEDO (Orstom, Montpellier)

(22) Actes des 5^{es} Rencontres internationales Agropolis: semaine internationale de l'alimentation, de la nutrition et de l'agro-industrie (1990).

(23) M Raimbault (1988) Solid state fermentation in bioconversion of agro-industrial raw material. Document Orstom, Paris, 143 p.

(24) La bagasse est le résidu solide obtenu après l'extraction à la presse du jus de canne à sucre broyée aux moulins.

(25) C Pulgarin, JP Schwitzgubel & R Tabacchi (1991) Comment blanchir les résidus du café noir? Biofutur 102, 43-50.

ENCADRÉ 2 - LES APPLICATIONS DE *RHIZOPUS ORYZAE* CULTIVÉ SUR MILIEU SOLIDE

Par fermentation solide, selon la nature du substrat, amylicé ou non, *Rhizopus oryza* :

- augmente la digestibilité des aliments destinés à l'homme et les enrichit en protéines et nutriments ;
- empêche la synthèse de toute substance toxique, telle l'aflatoxine B1 ;
- synthétise tout un ensemble de substances anticancérogènes ;
- produit un antibiotique très actif contre un grand nombre de bactéries Gram + ;
- produit de nombreuses lipases.

Ce champignon filamenteux peut aussi être l'agent actif de réacteurs conçus pour la dépollution de nombreux effluents industriels (surcharge des eaux en métaux toxiques, eaux résiduelles de raffineries, eaux employées dans les unités de combustion nucléaire).

Contact : Carlos SOCCOL (Orstom, Montpellier)



Bagasse de canne à sucre (S Roussos, Orstom).

ENCADRÉ 3 - LA PRODUCTION DE CELLULASES PAR *TRICHODERMA HARZIANUM*

La bagasse est un sous-produit agricole tropical composé principalement de cellulose (38%), d'hémicellulose (34%) et de lignine (11%).

L'hydrolyse chimique ou enzymatique de la cellulose en sucres simples est l'étape limitante à l'utilisation de la bagasse comme matière première dans les procédés biotechnologiques. Les recherches ont été orientées vers la mise au point d'un procédé de fermentation en milieu solide (FMS), permettant la culture de *Trichoderma harzianum*, un champignon filamenteux cellulolytique producteur de cellulases.

L'étude de la physiologie, de la croissance et de la sporulation de *T. harzianum* a permis de définir les conditions et les milieux les plus adéquats pour obtenir une culture optimisée. L'utilisation d'un dispositif d'incubation simple autorise le suivi du développement du champignon et l'étude, en laboratoire, de la production de cellulases sur bagasse en FMS.

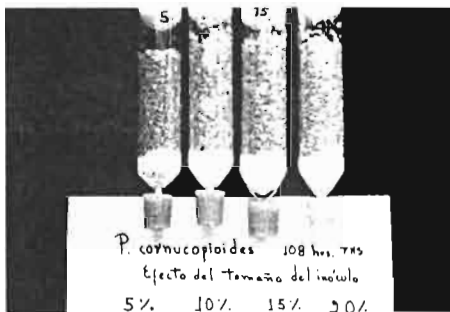
Après 48 heures de FMS, on obtient 2000 APF (activité papier filtre) et 20000 UI d'activités carboxyméthyl cellulose (ACMC) pour 10 g de bagasse (1).

Contact : Sevastianos ROUSSOS (Orstom, Montpellier)

(1) S Roussos (1985) Croissance de *Trichoderma harzianum* par fermentation en milieu solide : physiologie, sporulation et production de cellulases. Thèse d'Etat, université de Provence. Éditions Orstom 857-3, Paris.

M Raimbault, S Roussos, E Oriol, J Barrios, M Gutierrez, G Viniegra (1989) Procédé de culture de microorganismes sur supports solides imprégnés, en vue de la production et l'extraction d'enzymes et de métabolites. Brevet français n° 89 06558.

S Roussos et al (1991) Scale-up of cellulases production by *Trichoderma harzianum* on a mixture of sugar bagasse and wheat bran in solid state fermentation system. *Micol Neotrop* Apl 4, 83-98.



Culture de blanc de *Pleurotus cornucopiae* sur bagasse de canne à sucre dans un réacteur de type colonne (S Roussos, Orstom).

recyclage. Cette prospective a particulièrement sensibilisé les pays du Sud producteurs de café (26). Des résultats très prometteurs ont déjà été obtenus au Mexique pour la production de champignons comestibles (*Pleurotes*) à partir de pulpe de café compostée. À Cuba, ces mêmes champignons sont cultivés sur de la bagasse de canne à sucre. Des travaux sont en cours pour sélectionner des souches adaptées aux conditions climatiques et pour améliorer la production du mycelium et la qualité des spores.

D'autres techniques de transformation des sous-produits agricoles permettent de produire de l'énergie. Le cas du Biogaz est désormais bien connu. Il peut rendre des services dans des

zones déficitaires en énergie. C'est dans cette optique que se placent les différents programmes sur la production d'alcool (10, 11). Les productions énergétiques sont d'ailleurs de plus en plus couplées à la production de biofertilisants qui permettent de maintenir ou d'améliorer les niveaux de fertilité des sols cultivés et de diminuer les intrants chimiques. Le procédé Transpaille (fermentation méthanique de résidus fibreux) de la société Agriforce (filiale du Cirad) est exemplaire à ce propos. Les études de développement en cours au Sénégal et dans d'autres pays africains méritent d'être suivies attentivement. À court terme, ce procédé permettra non seulement de diminuer la pollution d'une lagune naturelle mais aussi de produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'unité pilote et de fabriquer un compost de bonne qualité pour l'horticulture locale.

Un autre exemple de recyclage de résidus pour la production de biofertilisants est également appliqué en Colombie par une usine de fabrication de sucre de canne (Risaralda). La *cachaza* (boue de clarification des jus de canne) est mélangée avec des cendres provenant des chaudières de combustion de la bagasse, celle-ci fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'usine. Il en résulte un produit, le *ceni-*

(26) Actes du 2^e Sibac (Seminario internacional sobre biotecnología en la agro-industria cafetera, 4-7 novembre 1991, Manizales, Colombie) (à paraître).

chaza, utilisé comme compost pour la production de plantules de canne à sucre, de café et pour des applications horticoles. Le *cenichaza* est aussi utilisé par les services techniques urbains pour entretenir les terrains de sports, et aménager les remblais d'ouvrages publics. Malheureusement, en l'état, il s'agit seulement de quelques exemples timides sur la valorisation de ce sous-produit. Le reste est encore déchargé, soit dans des dépôts, soit directement dans le fleuve.

Vers une meilleure gestion de l'agrobiomasse

La biomasse tropicale est potentiellement génératrice d'une forte activité agricole et agro-industrielle dans les pays du Sud. Cette agro-industrie recouvre l'ensemble des activités économiques visant à transformer, assembler et distribuer les produits issus de l'agriculture et/ou de la bio-industrie, à des fins alimentaires ou non alimentaires. Elle concerne non seulement l'agroalimentaire traditionnel, défini comme l'aval de l'agriculture, mais aussi l'ensemble des activités issues des développements scientifiques les plus récents. La mauvaise articulation entre les secteurs agricole et industriel entraîne l'émergence de tout un ensemble de problèmes (10, 11, 22).

Aucune stratégie agricole ne doit négliger les apports et les conséquences des technologies actuelles. Dans un premier temps, il s'agit d'introduire tout un ensemble de technologies éprouvées. Dans un second temps, de préférence rapproché, il s'agit d'appréhender les toutes nouvelles technologies dans les systèmes de production, de mettre en œuvre les conditions pour que les pays du Sud soient en mesure de bénéficier des derniers progrès des génies génétique, enzymatiques et fermentaires et de leurs applications dans les domaines de la production végétale, de l'élevage et de l'agro-industrie.

Mais ces nouvelles technologies sont particulièrement exigeantes et il ne faudrait pas se leurrer sur l'impact des biotechnologies dans ces pays. Elles nécessitent le développement d'une forte recherche fondamentale et d'une puissante recherche appliquée, de préférence, sur le même site. Il faut aussi trouver les considérables financements indispensables pour leur mise en place. Cela n'est possible que dans la mesure où une synergie existera entre ces pays

L'HYDROLYSAT DE PROTEINE DE MA FERMENTATION !

PEPTONE PANCREATIQUE DE CASEINE PLUS

PEPTONE PAPAÏNIQUE DE SOJA

PEPTONE PANCREATIQUE DE VIANDE N° 2

PEPTONE TRYPSIQUE DE VIANDE-CASEINE

...

ORGANOTECHNIE : une large gamme d'hydrolysats de protéine pour la FERMENTATION et le DIAGNOSTIC ainsi que l'étude et la réalisation d'extraits spécifiques pour vos milieux.

ORGANOTECHNIE
FERMENTATION

27, avenue Jean Mermoz - 93120 LA COURNEUVE - Tél. (1) 48.38.91.35 - Télex : 213 410 F

et les organismes internationaux susceptibles d'assurer un tel financement.

Souvent, le manque de connaissance locale et les difficultés du transfert ralentissent le développement de solutions viables. La trop grande spécialisation agricole d'une zone est néfaste à son équilibre et empêche la création de nouvelles activités. Il faut soutenir et promouvoir l'intégration des activités multisectorielles de l'agriculture, de l'élevage et de l'agro-industrie, ce qui n'est généralement pas le cas dans les pays tropicaux où un agriculteur n'est pas un éleveur et réciproquement. Ceci est valable à la fois pour les grandes cultures industrielles et vivrières. Les stratégies de valorisation des sous-produits de la biomasse tropicale doivent tenir compte de ce contexte.

Il faudrait aussi penser au développement de cultures qui permettraient de produire localement des produits de base pour l'industrie chimique ou alimentaire. Par exemple la culture du manioc, très fortement productrice d'amidon, pourrait conduire au développement de procédés de transformation à des fins chimiques ou alimentaires : production de colles, dextrines, farines alimentaires, amylases... Ces produits sont en général importés. Pour choisir ces nouvelles options, il faudra désormais considérer les procédés technologiques de façon à ne pas donner la priorité aux activités industrielles génératrices de polluants ou très dispendieuses en ressources de biomasse sans valorisation des sous-produits.

Dans ces conditions, la fermentation en milieu solide peut fournir des solutions intéressantes. Elle présente l'avantage de traiter les déchets solides concentrés donc plus faciles à maîtriser, de ne pas générer d'effluents liquides et de favoriser les petites et moyennes entreprises par rapport aux installations industrielles de fermentations classiques, parfois gigantesques.

Tous ces aspects stratégiques de gestion de l'agrobiomasse ne vont pas à l'encontre des nouveaux espoirs que représentent les biotechnologies. Au contraire. Mais il faut se préoccuper dès aujourd'hui du traitement des sous-produits. Les productions végétales généreront toujours des déchets et des sous-produits qu'il faudra traiter et recycler. D'autres problèmes apparaîtront avec les nouvelles formes d'agriculture. Par exemple, les récents développements des cultures florales ou horticoles basées sur la multiplication de variétés clonées, très productrices mais souvent très fragiles et sen-

ENCADRÉ 4 - PRODUCTION D'ALCALOÏDES PAR *CLAVICEPS PURPUREA*

Claviceps purpurea, l'agent pathogène responsable de l'ergot du seigle, est un champignon filamenteux producteur d'alcaloïdes. Ceux-ci revêtent une grande importance économique et pharmaceutique. En vue de leur production, différents procédés de culture du champignon ont été développés. Toutefois, ces systèmes sont restés limités à la biosynthèse de quelques alcaloïdes non représentatifs de la diversité de ceux produits naturellement dans le sclérote.

Les recherches portent actuellement sur la mise en œuvre d'une culture en milieu solide dans des conditions de fermentation proches des conditions naturelles. Parallèlement, la production des métabolites secondaires d'intérêt pharmaceutique est étudiée.

Une étude comparative de la croissance du champignon et de sa production d'alcaloïdes en fermentation en milieu liquide (FML) et solide (FMS) a été réalisée. La bagasse de canne à sucre a été utilisée comme substrat pour la FMS. Les résultats obtenus ont mis en évidence des différences significatives dans la nature des alcaloïdes produits et, en particulier, dans leur spectre : alors qu'en FML, l'ergotamine ne représente que 10% des alcaloïdes totaux, ce pourcentage s'élève à 30% en FMS.

L'étude, en FMS, de la physiologie de la croissance et de la respirométrie du champignon a montré qu'elles sont corrélées aux potentialités biosynthétiques mises en évidence.

Contact : Maria TREJO-HERNANDEZ (Orstom, Montpellier).

ENCADRÉ 5 - LA DÉTOXIFICATION DE LA PULPE DE CAFÉ

La pulpe de café est le principal sous-produit de l'agro-industrie du café. Pour chaque tonne de café vert obtenu, il est également produit 500 kg de pulpe sèche (ps) de café. Lors de la récolte de 1986-1987, la production mondiale de pulpe de café a ainsi atteint 2 400 000 tonnes (ps).

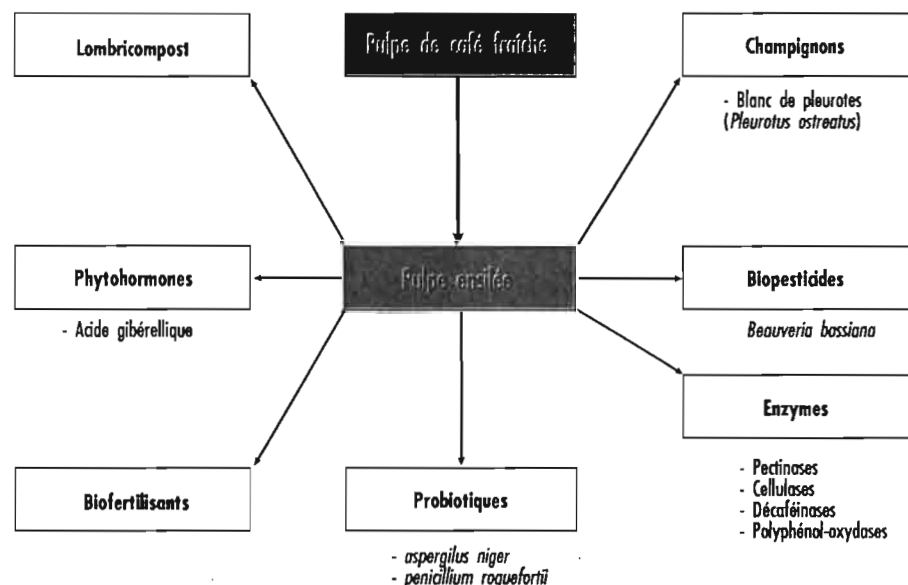
La pulpe de café pose de graves problèmes de pollution de l'environnement. Elle est notamment l'un des facteurs les plus importants de la contamination des cours d'eaux, principalement en Amérique latine.

Cette pulpe, riche en hydrates de carbone, en protéines, en amino-acides et en minéraux, pourrait être utilisée en alimentation animale. Mais elle contient aussi, en faible quantité, des tannins, des polyphénols et de la caféine. Ces composés, des facteurs antiphysiologiques importants pour les monogastriques et les ruminants, interdisent son utilisation.

Dans ce cadre, un programme de coopération avec le Mexique et la Colombie a été développé afin d'étudier la détoxification biologique de la pulpe de café. Nous avons en particulier isolé et sélectionné de nouvelles souches de champignons filamenteux capables de dégrader spécifiquement la caféine et les polyphénols au cours de la fermentation en milieu solide (FMS). Certaines de ces souches (*Penicillium roquefortii* et *Aspergillus oryzae*) dégradent complètement la caféine et partiellement les polyphénols après 48 heures de culture en FMS. Elles sont également capables de produire des pectinases directement sur pulpe de café.

Contact : Sevastianos ROUSSOS (Orstom, Montpellier)

VALORISATIONS DE LA PULPE DE CAFÉ PAR FERMENTATION EN MILIEU SOLIDE



sibles aux agressions virales ou autres plaies naturelles, nécessitent de très fortes doses d'engrais et des traitements pesticides lourds. Elles conduisent à la génération de sols très contaminés, impropres à de nouvelles cultures. Ils ne peuvent pas être remis dans l'environnement sans un traitement préalable de dépollution (*bioremediation*). Pour beaucoup de plantes cultivées d'intérêt régional ou international, il est ainsi nécessaire de développer des technologies propres permettant ou facilitant leur valorisation sous forme d'une production soutenable à long terme.

Pour répondre aux conditions actuelles d'internationalisation de l'économie, cette production doit aussi répondre aux caractéristiques d'efficacité, de compétitivité et présenter des avantages comparés favorables. Il faut identifier les produits de l'agrobiomasse tropicale qui méritent réellement d'être développés et, dans ces conditions, tout mettre en œuvre pour que les progrès de la biotechnologie parviennent à un impact réel dans le développement socio-économique des pays du Sud. Pour cela, il est nécessaire d'œuvrer en accord avec les politiques sociales et économiques, et en relation avec la formation d'un personnel scientifique de haut niveau académique, capable d'assurer la gestion scientifique et technologique des programmes de développement dans le respect de l'environnement et du maintien des ressources naturelles à long terme.

POUR EN SAVOIR PLUS

W Jaffe (ed) (1991) *Analyse de l'impact des biotechnologies en agriculture : aspects conceptuels et méthodologiques*. IICA, Programme II, génération et transfert de technologie, 186 p.

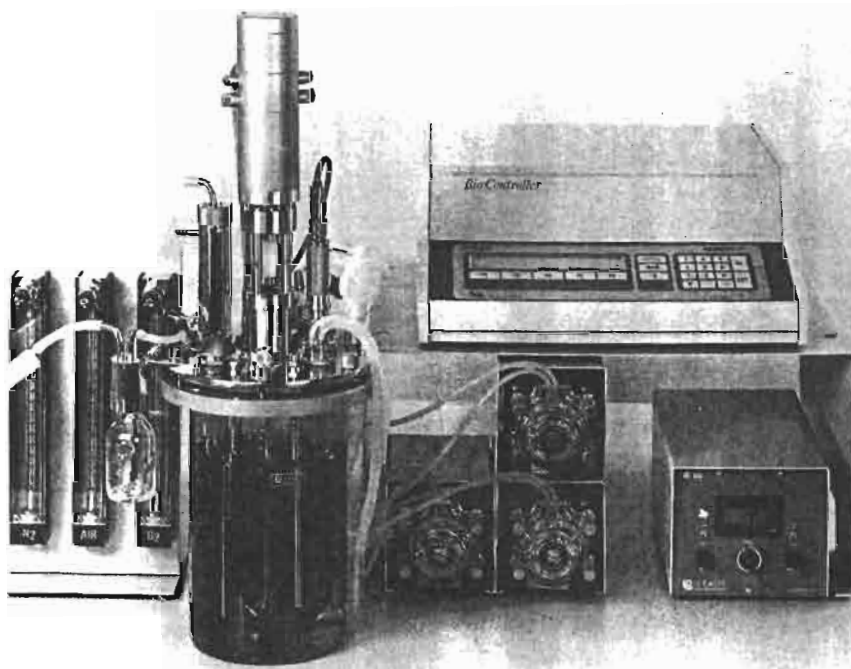
FR Ruskin (1981) *Food, fuel and fertilizer from organic wastes*. National Academy Press, Washington DC, 153 p.

FR Ruskin (1983) *Alcohol fuels options for developing countries*. National Academy Press, Washington DC, 109 p.

A Sasson (1990) *Feeding tomorrow's world*. Sextant Unesco/CTA, 805 p.

S Von Arnold, D Clapham & I Ekberg (1991) *Has biotechnology a future in forest tree breeding? For Tree Improv* 23, 31-47.

DES FERMENTEURS DE LABORATOIRE PERFORMANTS, FIABLES ET MODULAIRES.



LA PLUS VASTE GAMME DE FERMENTEURS AUTOCLAVABLES

- 2, 3, 5, 7, 15 ou 20 litres total.
- Mécanisme d'agitation Applikon à accouplement magnétique.
- Choix de cuves interchangeable : fond plat, rond ou à double enveloppe.
- Tous les accessoires sur la platine sont démontables.
- Configuration répondant exactement aux besoins.
- Modifications faciles.
- Nettoyage aisé.

LE BIOCONTROLLER ADI 1030

Entièrement digital pour régulation de 4 paramètres.

- Paramètres indépendants définis par montage carte capteur embrochable.
 - Paramètres différents (t°, pH, O₂, Rh, poids...) pour l'appareil.
 - Paramètres identiques (2 pH et 2t° ou 4t° par ex.) pour plusieurs appareils.
- Utilisation très simple par menus et touches fonction.
- Régulations sophistiquées (PID, cascades, seuils...)
- Alarmes, timers, débit des pompes...
- Liaison calculateur pour "acquisition" ou pilotage :
 - liaison RS 232.
 - liaison RS 422/485 pour utilisation en réseau.



APPLIKON Sarl
37, rue Jean Bouin - 78300 POISSY
Tél. : (1) 39.11.96.13 - Fax : (1) 39.65.59.95