

ORSTOM
32, avenue Henri Varagnat
93143 Bondy Cedex
Tél. 48 02 55 00 - Fax 48 47 30 88

ÉTUDE
COÛT INCRÉMENTAL ET PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ

Réalisée à la demande du Fonds Français pour l'Environnement Mondial
-FFEM-

DOCUMENTS DU GROUPE DE TRAVAIL

**L'enjeu des biotechnologies pour le développement des agricultures
des pays du Tiers-Monde**

Fatima Abdesselem
Chercheur CEDERS
Univ. de la Méditerranée/Aix-Marseille II

Décembre 1995

ORSTOM Documentation



010004126

COUT INCREMENTAL ET PROTECTION DE LA BIODIVERSITE :

L'enjeu des biotechnologies pour le développement des agricultures des pays du Tiers-Monde.

Fatima ABDESSELEM

Chercheur CEDERS, Université de la Méditerranée/Aix-Marseille II

Au sens large, les biotechnologies agricoles peuvent être définies comme *l'ensemble des techniques faisant appel à des organismes ou à des processus biologiques pour fabriquer ou modifier des produits, améliorer des végétaux ou des animaux ou mettre au point des micro-organismes à des fins particulières* (OTA, [1992]). Leurs domaines d'application sont principalement les semences, les engrais, les pesticides et la santé animale. A priori, elles devraient repousser les *limites biologiques* d'un accroissement de la productivité agricole et donc de la production en général. Le cycle de fabrication des produits biologiques devrait aussi être raccourci, renforçant les liens entre le secteur agricole et les besoins des économies nationales ou internationales. Par leur interaction avec les techniques mécaniques et chimiques, les biotechniques amélioreront probablement la gestion intégrée de la lutte contre les ravageurs et les travaux anti-érosion. Elles devraient ainsi favoriser la conservation des sols et dans la mesure où seront utilisés les biopesticides et les bioinsecticides, elles correspondront davantage à une agriculture plus respectueuse de l'environnement et de la biodiversité.

Depuis la crise des années 1970, les biotechnologies participent aux changements du système agro-industriel mondial, si bien que nous pouvons nous demander si elles sont une *réponse technologique* à un cycle de croissance dépressif et si elles constituent une *base nouvelle* de l'accumulation agricole ou agro-alimentaire post-fordiste ?

Rien n'est moins sûr, car elles ne sont, surtout pour les pays sous-développés, qu'un potentiel de développement économique. Elles restent pour l'essentiel *complémentaires* des technologies existantes (ANNEXE 1), et cela quels que soient les domaines concernés : agriculture, agro-alimentaire, environnement, énergie, chimie et santé. Elles risquent cependant d'amplifier la tendance au renforcement du dualisme agricole, bénéficiant aux grandes exploitations, aux moyens importants, et délaissant la multitude de petites exploitations, familiales et souvent vivrières dans les pays en développement.

Différentes de la révolution verte, les nouvelles biotechnologies génèrent des rapports différents entre secteurs public et privé de la recherche agricole et modifient les approches traditionnelles du financement de la recherche, l'appropriabilité des profits réalisés, le droit à breveter le vivant, l'organisation agro-industrielle, etc.

Les *frontières naturelles* de la recherche agricole (ANNEXE 2), s'estompant, apparaissent de nouveaux objets de recherche, des partenariats plus diversifiés et une approche plus multidisciplinaire du développement agricole et économique, en général.

Les pays en développement pourront-ils tirer bénéfice de ces mutations de la recherche scientifique, de la réorganisation du secteur public de recherche agricole dans le monde et des changements de l'organisation agro-industrielle ? La privatisation du vivant, avec l'aide du secteur public dans la plupart des pays industrialisés, ne favorise-t-elle pas un nouveau droit sur le vivant excluant encore davantage des pays déjà marginalisés de l'ordre productif mondial ?

Quel rôle peuvent jouer les Etats du Tiers-Monde ou les systèmes nationaux de recherches agricoles ? Doivent-ils favoriser, à l'instar de nombreux pays d'Amérique Latine et

d'Asie, le développement de certaines biotechnologies agricoles par rapport à des besoins internes et/ou externes spécifiques ? L'utilisation des techniques agronomiques traditionnelles n'est-elle pas limitée face à une agriculture mondiale plus compétitive et à des consommateurs plus exigeants ? Pourra-t-on préserver la biodiversité et à quels coûts ?

Pour des raisons financières évidentes et une capacité scientifique et technologique des systèmes nationaux de recherche agricole insuffisante, seules pour l'instant des applications biotechnologiques de court terme voire de moyen terme sont possibles dans la plupart des régions en développement. Des formes nouvelles ou recomposées de coopération régionale et internationale devront alors être développées pour pallier les difficultés financières de la recherche agricole, les problèmes de taille de marché, le manque de capital humain spécialisé dans les nouvelles biotechnologies et la dégradation de nombreux écosystèmes.

Nous aborderons ainsi, *en premier lieu*, le développement des biotechnologies vertes et les effets des nouveaux modèles d'organisation agro-industrielle (1 - **Biotechnologies et agriculture**), *en deuxième lieu*, la situation biotechnologique des agricultures en développement (2 - **L'Asie, l'Amérique Latine et l'Afrique sur la voie biotechnologique**) et *en dernier lieu*, les potentialités des biotechnologies à conserver et élargir la biodiversité existante (3 - **Biotechnologies vertes et biodiversité**).

1 . Biotechnologies et agriculture

Aujourd'hui, le développement des biotechnologies issues du génie génétique, du génie microbiologique et du génie enzymatique, concerne des secteurs aussi différents que la pharmacie (santé humaine et animale), l'agriculture et l'environnement.

En agriculture sous-développée, les défis à relever sont importants puisque les $\frac{3}{4}$ de la population mondiale vivent dans des pays en développement où les besoins alimentaires sont en croissance rapide. Comment y assurer alors la sécurité alimentaire et humaine tout en préservant l'environnement productif et l'avenir des générations futures ? Les biotechnologies peuvent-elles constituer une réponse pertinente en termes d'augmentation de la productivité agricole et d'une *croissance agricole durable* ?

1.1. Biotechnologies vertes et développement économique

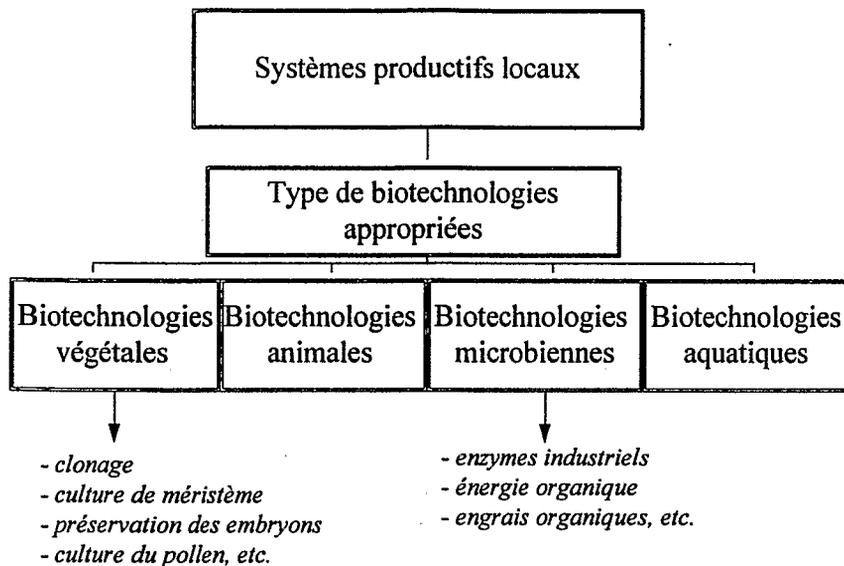
La concentration du pouvoir oligopolistique des firmes multinationales pharmaceutiques, chimiques ou agro-alimentaires¹ et le poids des agricultures développées encore protégées, parallèlement à la dépression des marchés des matières premières agricoles et des difficultés d'ajustement structurel des pays sous-développés, nous interrogent sur la nécessité de développer les biotechnologies dans les pays en développement.

Selon S.N.C. OKONKWO [1992], le but ultime à atteindre dans l'application des biotechnologies agricoles est la provision facile et moins coûteuse de vivres et les domaines concernés sont nombreux et variés : *biotechnologies de la plante, biotechnologies microbiennes, biotechnologies animales et biotechnologies aquatiques*.

Nous nous limiterons aux deux premiers types de biotechnologies, car dans la plupart des agricultures en développement le **secteur des intrants** et celui **des techniques post-récolte** restent prédominants et font appel aux biotechnologies de la plante et aux

¹ *Tomate* : Calgene, ICI, Monsanto, Agracetus, *Huiles alimentaires* : Calgene, DuPont, Pioneer, *Coton* : Calgene, *Mais* : De Kalb, Ciba-Geigy, Pioneer, Monsanto, Cargill, *Blé* : Monsanto, etc.

biotechnologies microbiennes. Nous verrons que certaines d'entre elles permettent de *préservier et/ou d'améliorer la biodiversité*.



* Les biotechnologies végétales.

La culture de la cellule et du tissu de la plante est ici essentielle. Cette technique repose sur le fait qu'une seule cellule (ou un groupe de cellules) provenant des organes de la plante (racine, feuille, tige) peut être plantée dans un bouillon de culture aseptique, afin de générer rapidement des populations de plantes qui pourront enfin pousser dans le sol. Cela concerne :

- La *propagation clonale*² :

Perfectionnée depuis 1937, la culture du tissu de la plante offre les moyens pour une propagation rapide et moins coûteuse de la plante (multiplication par clones). Cette technique est applicable dans la propagation de nombreuses variétés de fruits ou de légumes (palmier à huile, banane, patate douce, igname). Elle est destinée à accroître rapidement les productions alimentaires, mais aussi à lutter contre la désertification dans des programmes de reboisement.

- La *culture du méristème* :

« En 1952, note A. SASSON [1983], l'INRA a réussi à obtenir, à partir du méristème³ d'un dahlia malade, un dahlia indemne de virus. Une variété de pomme de terre, la belle-de-Fontenay, que l'infection par un virus avait fait disparaître des cultures, avait été reproduite à partir d'un méristème sain prélevé sur une plante malade et multiplié in vitro ». Plus largement, les exemples de plantes qui ont été débarrassées des agents pathogènes par cette méthode sont le manioc, la patate douce, l'igname, le cacao et les fraises. Par rapport aux techniques traditionnelles de multiplication, l'avantage de la culture du méristème, surtout pour les variétés fragiles, est de fournir par culture in vitro beaucoup plus de descendants en un minimum de temps. L'inconvénient cependant est le risque de diminution de la diversité génétique, les individus d'une espèce provenant d'un méristème unique. Aussi cela demande-t-il la création de banques de gènes afin de conserver les patrimoines héréditaires

² Le **clonage** désigne la propagation de plante de manière asexuée.

³ **Méristème** : petite masse de cellules indifférenciées, d'une dimension inférieure au dixième de millimètre. Le méristème est situé à l'extrémité de la tige de la plante, qui croît constamment et donne naissance aux organes de la plante. Au bout de quelques semaines, la tige est découpée en micro-boutures qui, dans des conditions favorables, se transforment en plantes entières.

indispensables au maintien de la diversité génétique. Conscients de ce problème, lié au remplacement progressif des variétés traditionnelles par des variétés à fort rendement, les centres internationaux de recherche agricole ont constitué des centres de conservation du plasma germinatif. C'est le cas du CIP et de l'IITA conservant la totalité de la collection mondiale des génotypes de pomme de terre et espèces voisines (manioc, igname, patate douce).

- La préservation des embryons :

Les embryons issus des croisements entre plantes à espèces variées meurent fréquemment en raison de certaines incompatibilités de croisement. Leur préservation dans des conditions particulières et leur culture in vitro conservent leurs caractères bénéfiques et contribuent à l'enrichissement de la biodiversité.

- La culture du pollen :

La culture in vitro du pollen constitue une méthode rapide (quelques semaines à quelques mois) et appropriée pour la production de plante haploïdes (stériles). Celles-ci peuvent être « converties » par l'application de la méthode du dédoublement des chromosomes, afin de produire des plantes homozygotes⁴ diploïdes (possédant un double assortiment de chromosomes semblables), fécondes, essentielles dans le développement d'une nouvelle multiplication de lignées ou dans la production d'hybrides. Les méthodes traditionnelles de production des lignées pures homozygotes demandent plus de temps, parfois de nombreuses années.

Ces méthodes peuvent, pour la plupart, être utilisées par les pays en développement, car elles ne demandent pas des équipements et des infrastructures de recherche très sophistiquées⁵, ni des chercheurs longuement formés. Les orientations possibles devraient concerner :

- La recherche sur la résistance génétique : les herbicides, utilisés pour éliminer les plantes adventices, sont souvent dangereux pour l'environnement. De nouvelles espèces d'herbicides (glyphosate, chlorusefuron) tuent tout végétal sans affecter la nappe phréatique. La résistance à de tels herbicides est contrôlée par des gènes uniques, clonés et intégrés dans les génomes des plantes transgénétiques concernées, développant ainsi une résistance aux herbicides. Des résistances à la sécheresse ou une plus grande tolérance à la salinité peuvent également être introduites, afin que les plantes s'adaptent à une gamme d'environnements plus large ou maintiennent la biodiversité existante.

- La recherche sur la résistance aux insectes : la découverte de la bactérie *Bacillus Thuringiensis* est un bon moyen de lutter contre les insectes nuisibles aux récoltes, puisqu'elle produit une protéine, qui une fois ingérée par l'insecte, dégage une toxine active qui l'élimine. Elle est inoffensive pour l'homme, l'animal et l'environnement et peut être clonée dans le génome de plusieurs espèces de végétaux ou utilisée sous forme de poudre insecticide.

- La recherche sur la tolérance génétique aux virus : les chercheurs ont découvert que les végétaux infectés par des souches moins virulentes de virus développaient une résistance aux infections consécutives par une souche beaucoup plus virulente. Ce phénomène, appelé *croissement de protection*, proviendrait de la couche de protéines (CP) provoquant les virus.

⁴ Homozygote : se dit d'une cellule qui possède deux gènes identiques, situés aux endroits correspondants des deux chromosomes d'une même paire.

⁵ La micro-propagation, par exemple, demande (P. BOXUS, [1989], p.169) :

- un besoin en matériel de départ très limité : quelques bourgeons sont suffisants, les parcs à bois ou à pieds mères coûteux à entretenir ne sont pas nécessaires,

- une surface de culture minimale : chaque année, chaque mètre carré de tablette peut produire plus de 25000 arbres ou plus de 50 000 fraisiers-racines, etc.

Aussi, ces recherches ont-elles conduit à la production de végétaux transgénétiques dans lesquels des gènes CP de certains virus ont été incorporés.

* *Les biotechnologies microbiennes.*

Fondamentales dans la gestion des ressources naturelles, ces biotechnologies regroupent, par exemple, la production d'engrais organiques, d'enzymes industriels et l'énergie d'origine organique (biogaz) :

- *Les engrais organiques :*

L'usage de micro-organismes, tels les champignons ou les bactéries comme la *Rhizobia*⁶, peut fixer à moindre coût l'azote atmosphérique pour produire « l'azote riche » utilisée par les plantes. Cela évite le recours à des engrais azotés chimiques plus chers et polluants les sols. La production de quelques Rhizomes est déjà commercialisée en Afrique et bien sûr en Amérique Latine, en Asie, particulièrement en Inde où la révolution verte a créé, par l'usage important d'engrais, des dommages au niveau des sols et de la nappe phréatique (G. ALAM [1994]).

- *Les enzymes industriels :*

L'utilisation de micro-organismes pour produire des enzymes industriels (par exemple amylose α , amylose β , amyloglucosidase) peut intéresser les pays en développement, notamment ceux orientés vers les fermentations agro-alimentaires⁷, le brassage de la bière, l'industrie des confitures, etc.

- *Les productions d'énergie organique :*

Il s'agit ici de produire, à partir de micro-organismes et d'hydrocarbures tels les sucres, la cellulose ou les matières organiques, du méthane ou du dioxyde de carbone. Le biogaz obtenu à partir d'engrais ou de déchets du bétail, de résidus de récoltes, est utilisé comme une source d'énergie pour des besoins domestiques, alors que les résidus organiques sont utilisés comme compost. On connaît, depuis longtemps, l'utilité de la production de biogaz (faibles coûts, préservation de l'environnement) dans les milieux ruraux pauvres du Tiers-Monde (Chine, Inde). Son développement dans les régions (ex. Sahel), où le bois de chauffage est une cause de désertification, se heurte néanmoins à des habitudes de consommation solides.

En définitive, ces différentes biotechnologies agricoles ou agro-alimentaires, a priori plus efficaces⁸ que les méthodes traditionnelles de sélection végétale ou de production industrielle, pourraient sous certaines conditions⁹ être plus ou moins rapidement adoptées

⁶ La *Rhizobia* colonise les racines de la plante hôte, qui fixe alors mieux l'azote biologique.

⁷ L'étude de l'écologie des micro-organismes, responsables de la fermentation du « m'bannick », une des principales boissons lactées traditionnelles du Sénégal (B. N'DIR, [1989]), dégage des axes de recherche extrêmement intéressants pour développer et contrôler la fabrication de ce produit biologique (ferments lactiques vivants). Le développement agro-industriel de ce lait caillé demande, toutefois, la maîtrise parfaite de la qualité du produit et des conditions de production (réaction des levures, des lactobacilles, des acides, etc.).

⁸ « Malgré leur efficacité, notent P. LEPOIVRE et J. SEMAL, ([1989], p.159), les méthodes classiques de l'amélioration végétale présentent des défauts, en particulier la longueur du processus (une variété de blé n'est commercialisée qu'après 8-10 ans de sélection), et la reproduction sexuée impose des barrières dans le choix du matériel, eu égard aux cas d'incompatibilité, limitant les possibilités de croisement. Les développements récents des cultures de tissus et de la biologie moléculaire permettent de lever ces obstacles et d'ouvrir de nouvelles perspectives dans la création d'une variété génétique somaclonale ». Par ailleurs, les risques de créer des mutants ne sont guère plus importants en culture in vitro qu'en culture traditionnelle, si les principes d'usage sont respectés (balance hormonale appropriée, conditions d'aseptie rigoureuses).

⁹ Spécialisations scientifiques solides (pathologie végétale, amélioration variétale), chercheurs confirmés, laboratoires de recherche opérationnels, relations avec des Instituts de recherche extérieurs, coopération Nord-Sud (approvisionnement en produits chimiques de qualité, financement d'un encadrement local, fourniture de plantes-mère et de licences), etc.

dans le Tiers-Monde afin d'augmenter la sécurité alimentaire, de diversifier une agriculture aux spécialisations anciennes et de protéger l'environnement. Le *coût* des biotechnologies vertes (de quelques milliers de dollars à plusieurs millions) présenté souvent comme un facteur limitant leur utilisation en pays sous-développés, ne doit toutefois pas provoquer leur *rejet*, car les **applications possibles à court terme** (environ 3 ans), telles la propagation clonale, la production d'enzymes industriels, la culture de méristème, sont à la portée de beaucoup de pays. Bien sûr les **applications à moyen terme** (3-8 ans) et à **long terme** (8-15 ans), tels les manipulations et les transferts de gènes, requièrent l'aide de programmes internationaux, surtout lorsqu'il s'agit de cultures vivrières¹⁰ ou de productions locales peu commercialisées.

La commercialisation croissante de nombreux produits issus des nouvelles biotechnologies ne s'effectuera cependant pas sans problème au niveau de la conservation de l'environnement ou de la biodiversité et de l'accès aux nouveaux progrès scientifiques et technologiques par l'ensemble des pays. Les risques et les dangers sont multiples et relativisent les potentialités offertes par les biotechnologies dans les pays en développement. La modification d'organismes vivants pourrait effectivement accroître la vulnérabilité de certaines plantes et animaux transgéniques, uniformes génétiquement. De plus, leur interaction dans des environnements différents n'est pas toujours connue et maîtrisable ex-ante, etc.

Par rapport à l'introduction des nouvelles biotechnologies vertes, les pays sous-développés n'ont évidemment pas les mêmes intérêts de développement ou les mêmes besoins que les pays déjà industrialisés; aussi les transferts de technologie, comme par le passé, devront-ils être attentifs aux *contingences locales* et aux potentialités scientifiques et technologiques nationales. C'est d'autant plus vrai, qu'à la différence de la révolution verte favorisant des paquets technologiques-biens publics, la nouvelle bio-révolution privilégie le développement du secteur privé et une agriculture plus productive et plus écologique dans les pays industrialisés.

1.2. De nouveaux modèles d'organisation agro-industrielle

Les nouvelles biotechnologies restent pour l'essentiel complémentaires aux technologies existantes, et cela quels que soient les domaines concernés : agriculture, agro-alimentaire, environnement, énergie, chimie ou santé. D'après C. DUCOS et P.B. JOLY [1988], elles sont transversales, combinatoires et complémentaires.

Transversales, en raison de l'universalité du code génétique. Qu'ils s'agissent des animaux, des végétaux ou des micro-organismes, des secteurs alimentaires, pharmaceutiques et autres, les techniques de génie génétique seront les mêmes. Pourtant, elles sont en soi insuffisantes et doivent faire appel à d'autres techniques (fermentation, purification) pour maîtriser le processus productif et commercial. En ce sens, elles sont *combinatoires* et favorisent la coopération ou l'alliance entre entreprises, chacune d'elles ne pouvant maîtriser toutes les techniques et le savoir-faire correspondant. Elles sont, enfin, *complémentaires* des technologies traditionnelles. Dans le domaine des semences, par exemple, les variétés améliorées et les variétés à haut rendement prédominent encore sur les variétés modifiées par

¹⁰ Les laboratoires spécialisés dans les cultures in vitro sont rares dans les pays du Tiers-Monde et particulièrement en Afrique, à l'exception toutefois pour l'Afrique de l'Ouest du grand laboratoire de l'IRHO, situé à La Mé en Côte d'Ivoire (le premier cours sur les biotechnologies a été créé à l'Université d'Abidjan en 1989). La priorité y est, cependant, donnée aux cultures de rente (palmier à huile, cacao), qui devraient avant la fin de ce siècle bénéficier des progrès des recherches scientifiques menées.

génie génétique. La relation entre la plante et son environnement est effectivement difficile à maîtriser et à stabiliser, et la structure génétique des plantes commerciales et vivrières n'est pas toujours très bien connue¹¹.

Les biotechnologies risquent cependant d'accélérer le développement de recherches sur les plantes de grande valeur marchande, associant firmes chimiques, pharmaceutiques et nouvelles entreprises biotechnologiques. L'exigence sociale de diffusion des connaissances ne serait plus alors nécessairement maintenue, puisque la firme privée pourrait conserver les résultats de ses recherches jusqu'à ce qu'ils soient protégés par le dépôt d'un *brevet*¹². Le brevet fait en effet l'objet d'enjeux économiques importants, puisqu'il offre à l'entreprise qui la première le dépose la possibilité de maintenir une avance technologique et donc un marché (quasi-rente, récompensant son effort financier de recherches), jusqu'à ce que d'autres entreprises rattrapent leur retard concurrentiel et proposent des produits équivalents ou supérieurs. En ce qui concerne le vivant, le brevet au sens industriel du terme¹³ pose des difficultés d'application, car la reproductibilité de l'action d'un micro-organisme¹⁴, par exemple, est plus complexe à contrôler et prévoir systématiquement¹⁵, surtout si le matériel génétique créé n'est pas déposé par la firme agro-industrielle, chimique ou pharmaceutique.

Par ailleurs la frontière entre *invention* et *découverte* de propriétés naturelles (caractère inappropriable ou appropriable) a pendant longtemps été difficile à établir, au moins jusqu'à l'affaire CHAKRABARTY (Etats-Unis, 1980). Cette dernière ouvre une étape nouvelle, établissant une distinction entre *ingéniosité propre à la nature* et *ingéniosité de l'inventeur*, obtenue par génie génétique. La Cour suprême américaine statua sur le droit de dépôt d'un brevet sur un micro-organisme : une bactérie du genre *Pseudomonas*, existant à l'état naturel et renfermant deux plasmides stables, générateurs d'énergie, qui permettent à la bactérie de dégrader les hydrocarbures. Il s'agissait là, remarque F. GROS [1990] « d'une mise au point biotechnologique de grande importance, puisqu'on espérait, en utilisant ce micro-organisme modifié par génie génétique, pouvoir lutter contre certaines formes de pollution ». La Cour a argumenté sa décision en rejetant l'argument du *produit naturel*, le chercheur ayant réussi à fabriquer une *nouvelle* bactérie, possédant des caractéristiques *différentes* de celles existant à l'état naturel et *utile* dans de multiples domaines¹⁶.

¹¹ « On ignore encore, remarque F. GROS ([1990], p.135), pourquoi et en vertu de quel mécanisme certains gènes ne fonctionnent qu'à des étapes parfaitement définies du développement de la plante et seulement dans certains organes (racines, feuilles, graines ». Quelques plantes à vocation commerciale (tabac, pomme de terre, pétunia) ont cependant fait l'objet de recherches poussées par des laboratoires privés, tel celui de la firme Monsanto.

¹² Aux Etats-Unis, les trois quarts des brevets associés aux biotechnologies sont déposés par des entreprises privées, souvent multinationales, le quart restant est partagé par des universités, des organismes publics et des individus.

¹³ Ne sont brevetables que les inventions qui respectent les critères de nouveauté, originalité, utilité et qui possèdent un caractère technique ou qui peuvent, autrement dit, être strictement reproductibles à partir de formules et d'indications précises.

¹⁴ En agriculture, les micro-organismes ou « starters » ont des propriétés qui visent soit à se substituer aux substances chimiques de type pesticides (exemple : les bactéries *Pseudomonas*), soit à résoudre des problèmes spécifiques liés à l'activité agricole (conditionnement, conservation).

¹⁵ Cela suppose que les propriétés nouvelles du micro-organisme, de la plante ou de l'animal transgénique, soient liés à des gènes parfaitement définis et dont la manipulation peut être décrite avec précision (F. GROS, [1990], p.208).

¹⁶ La Cour, souligne F. GROS ([1990], p.209), s'est cependant efforcée d'établir des limites à la brevetabilité. Elle en a exclu les organismes vivants purs et simples, c'est-à-dire non modifiés par génie génétique, estimant que l'octroi du brevet CHAKRABARTY constituait une exception puisqu'il concernait un organisme vivant doté de son véhicule génétique (carrier) introduit par transformation et, par conséquent, modifié génétiquement par l'homme.

L'économie des brevets biotechnologiques est ainsi fort complexe à définir, tant elle bouleverse les législations traditionnelles, le système de l'UPOV¹⁷, les rapports entre l'homme et la nature ou entre science et éthique. Le débat s'est actuellement déplacé avec le développement des biotechnologies, accroissant la valeur intrinsèque des ressources génétiques manipulées par l'homme à des fins productives. Il ne s'agit plus seulement de contrôler par exemple la vente des semences créées, mais de *contrôler les procédés techniques* intervenant dans la modification génétique de la plante, ainsi que de *breveter* des gènes aux caractéristiques modifiées ou *fabriquées* par l'inventeur. Cela pourrait avoir deux conséquences dramatiques pour le Tiers-Monde :

- l'existence de variétés brevetées empêcherait les sélectionneurs traditionnels ou les CIRA de les utiliser librement comme matériel de sélection,
- la production de *semences artificielles* obligerait les producteurs à renouveler régulièrement leur stock de semences.

En conséquence, nous pouvons dire que la *marchandisation* progressive des produits de la recherche agricole génère une donne nouvelle en agriculture, qui diffère des caractéristiques de la révolution verte, comme l'indique le tableau ci-dessous :

Caractéristiques	Révolution Verte	Bio-Révolution
domaines affectés	blé, riz, maïs	en théorie toutes les cultures, zootechnie, pharmacie, environnement
pays concernés	Asie et certains PVD	a priori tous les pays et toutes les régions
Diffusion des innovations	institutions publiques et fondations privées	secteur privé, avec surtout des firmes multinationales
Savoir scientifique et technique	amélioration et sélection classiques des plantes, hybridation	génie génétique, génie microbiologique, génie enzymatique
Accès à l'information	aisé, diffusion large par les centres internationaux de recherche agricole	difficile, privatisation du vivant, brevets
Droits de propriété	système du Droit des Obtentions Végétales n'offrant qu'un monopole restreint sur les variétés créées	brevets et autres formes de protection des modifications génétiques réalisées
Financement des recherches	surtout public	public et surtout privé, avec des coûts plus ou moins élevés selon les techniques utilisées
Biodiversité	le développement de VHR risque d'accroître la vulnérabilité génétique et de restreindre la diversité naturelle	Risque d'augmentation de la vulnérabilité des plantes et animaux par l'uniformité des copies - Biopesticides et bioinsecticides comme alternative aux produits chimiques

L'exemple de la révolution verte ou de l'introduction de variétés à haut rendement (VHR) dans des pays comme l'Inde ou le Mexique relativise les *miracles* agronomiques attendus de la révolution verte dans d'autres régions en développement. En effet, les variétés à potentiel de rendement *très élevé* (blé, riz, maïs) n'ont pas toujours tenu leurs promesses

¹⁷ Le Droit des Obtentions Végétales ne protégeait pas la matière génétique à l'intérieur de la semence, mais donnait le droit de monopole sur la vente et la distribution d'une variété aux caractéristiques spécifiques. Cela a ainsi plutôt favoriser la création de biens publics, largement diffusés par la recherche agronomique internationale (semences hybrides par exemple).

d'éradication de la famine ni *révolutionné* les systèmes de production chez les petits paysans ou dans les systèmes communautaires, disposant de faibles revenus et, par conséquent, soumis à des risques plus élevés en cas de mauvaises conditions météorologiques, de prédateurs ou de maladies.

Pour être réellement rentable, enrayer la faim et la pauvreté et accélérer la croissance, la culture des VHR supposait un ensemble d'infrastructures (irrigation notamment), des facteurs de production disponibles (dont des terres de qualité), une rationalisation dans la gestion des exploitations (auxquels tous les producteurs n'avaient pas accès) et une politique active de soutien des prix (l'augmentation de la production risquant de faire chuter les prix). Ces conditions préalables n'ont pas été réunies d'emblée dans la plupart des pays asiatiques, puisqu'il a fallu environ une **quinzaine d'années** pour que ce processus de transformation des systèmes productifs, dû pour l'essentiel à l'initiative des pouvoirs publics, s'achève. L'usage des engrais chimiques nécessite une **maîtrise complète de l'irrigation** (en quantité requise et en temps voulu) et le **renouvellement régulier** des semences ou des plants améliorés : chaque année, pour les hybrides tels que le maïs et le millet, tous les quatre ou cinq ans pour le blé et le riz, afin de pallier les risques de dégénérescence.

Les *leçons* que l'on peut retenir de la révolution verte en Asie sont que, d'une part, elle a privilégié la **dimension technologique** de la croissance sans tenir compte des réformes agraire et organisationnelle, indispensables dans tout processus de développement, et que, d'autre part, elle a *oublié* l'existence des producteurs ou des ruraux très pauvres, ainsi que la nécessité de disposer, au préalable, d'un certain capital humain (éducation, formation) et agronomique (système national de recherches agricoles) pour mettre en oeuvre les nouveaux paquets technologiques.

Le rôle de la technologie dans la **croissance économique** et dans l'**environnement de réception** n'a, en réalité, que peu été examiné ou du moins vraiment pris en compte. Le débat n'est pas clos, puisque le développement des biotechnologies agricoles dans les pays du Tiers-Monde n'élimine pas les **problématiques locales** d'adoption des nouveaux paquets techniques.

A partir de l'examen de quatre pays en développement (Brésil, Indonésie, Mexique, Thaïlande), C. BRENNER [1991] montre que les chances d'accroissement de l'offre de maïs, grâce à l'adoption de nouvelles biotechnologies appliquées au maïs sont loin d'être assurées, y compris au Brésil où l'entreprise privée Agrocères fut le fer de lance de la recherche agronomique, et malgré la présence de firmes multinationales (Pioneer, Cargill et Dekalb) fournissant des graines et des intrants agricoles.

Les variétés à pollinisation libre améliorées (résistantes au mildiou des céréales par exemple), en Indonésie, au Mexique et en Thaïlande restent prédominantes sur l'ensemble des terres cultivées en raison des **difficultés d'adoption** des nouvelles biotechnologies, mais aussi parce que les politiques d'ajustement structurel agricole réduisent le financement de la recherche publique en faveur du maïs, alors que les conditions de *profitabilité* pour le secteur privé ne sont pas totalement réunies. *Le nombre insuffisant, remarque C. BRENNER [1991, p.11], de spécialistes dans les disciplines connexes (biochimie, microbiologie, biologie moléculaire) aggrave le problème de ressources financières limitées.*

Aussi, les biotechnologies végétales continueront pour la plupart à être incorporées aux semences et complèteront, en conséquence, **sans les remplacer**, les méthodes traditionnelles de sélection et de manipulation génétiques appliquées aux végétaux. L'adaptation des paquets techniques à l'environnement agro-écologique et aux systèmes productifs prédominants demeurera encore, et pour de nombreuses années, une fonction essentielle des systèmes nationaux de recherche agricole, la *relation environnement-*

technologie-croissance économique étant toujours complexe, instable et variable d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre au sein d'un même pays.

Dans ce contexte, quel type de développement des biotechnologies végétales ou agro-alimentaires peut-on alors préconiser dans les pays en développement ?

2 . L'Asie, l'Amérique Latine et l'Afrique sur la voie biotechnologique

Le développement de biotechnologies agricoles ou agro-alimentaires paraît limité à l'échelle du *petit pays* pour des raisons de taille du marché, d'infrastructures scientifiques et technologiques insuffisantes, de changements de systèmes productifs, etc. Pour pallier ces problèmes essentiels et répondre aux enjeux des biotechnologies, de nombreux pays ont cependant soit organisé une coopération régionale en terme de partage des ressources scientifiques et techniques, soit modifié le fonctionnement du secteur public de recherches agricoles.

2.1. Les biotechnologies végétales en Asie

Depuis les années 1980, la plupart des Etats asiatiques¹⁸ (R.B. SINGH [1989]) ont développé des programmes visant à adopter quelques techniques peu coûteuses, telles la culture des tissus, la production d'enzymes industriels et de biogaz.

L'Inde a créé en 1982 le National Biotechnology Board (NBTB), orienté vers la satisfaction des objectifs d'autosuffisance alimentaire, de santé, d'*environnement* et de formation de scientifiques. En agriculture, l'accent est mis sur les bactéries qui fixent l'azote, le développement de variétés résistant aux maladies et aux insectes ou à la sécheresse. La propagation clonale est utilisée pour la production de fleurs, de dattes, de noixettes et de fruits. A partir de 1990, le NBTB est remplacé par le Department of Biotechnology, chargé de formuler des projets spécifiques de Recherche-Développement en biotechnologie, en collaboration avec des instituts publics de recherche, les universités et les industries concernées. Il y a aujourd'hui une quinzaine d'entreprises privées impliquées dans les biotechnologies, dont certaines ont conclu des accords de *joint-ventures* avec des firmes étrangères (Unilever NV, Seedtec International, Cargill Inc, Sandoz AB).

En Chine, le Chinese National Center for Biotechnology and Development est créé entre 1984 et 1988, afin d'augmenter la production céréalière et d'améliorer les produits alimentaires. Le pays s'est lancé dans la culture *in vitro* de plants de pommes de terre sains, de fleurs, et dans la propagation clonale de la canne à sucre, de la banane et de l'orange.

En Indonésie, le gouvernement déclare, en 1985, que la biotechnologie est une priorité dans le développement de l'économie nationale : mise en place de centres de formation, programmes de coopération internationale. Le National Center for Biotechnology, créé en 1986, coordonne tous les projets de recherche-développement biotechnologique. L'accent est mis, comme en Malaisie, sur la production de l'huile de palme à l'aide des nouvelles techniques biotechnologiques. Les deux pays représentent en effet les deux tiers de la production mondiale d'huile de palme.

En Malaisie, le National Council for Scientific Research and Development [1984] relève plusieurs priorités en agriculture : la culture *in vitro*, le génie génétique, la biotechnologie animale, la production de l'énergie organique, les techniques de fermentation.

¹⁸ Bangladesh, Chine, Corée, Indonésie, Malaisie, Thaïlande, etc., soit 20 pays couverts par le Régional Office for Asia and Pacific.

Les universités et les instituts publics ont des programmes de biotechnologie communs, en liaison avec les besoins de l'industrie et participent à des programmes internationaux de recherche biotechnologique. Le fonds spécial pour la promotion des biotechnologies consacre 5,45 millions de dollars à la recherche sur les biotechnologies végétales, agro-alimentaires, animales et *environnementales* (R.B. SINGH [1989]). Par rapport à l'importance économique du caoutchouc et de l'huile de palme, le gouvernement a encouragé à la fois une recherche biotechnologique publique et une recherche biotechnologique privée.

En **Thaïlande**, les fluctuations internationales du prix des matières premières ont incité le gouvernement à développer des biotechnologies permettant une réduction des coûts de production et surtout une diversification des cultures. Le National Center for Genetic Engineering and Biotechnology [1983] coordonne les programmes biotechnologiques dans des domaines aussi variés que l'industrie, l'agriculture, la santé publique, l'énergie et l'*environnement*. La création en 1985 du Science and Technology for Development Programme avec l'aide de l'USAID renforce le dispositif précédent en mettant l'accent sur la bioscience et l'utilisation de l'informatique. Près de Bangkok, de nombreuses sociétés privées se sont lancées dans la culture in vitro et la propagation clonale des orchidées et autres fleurs. Leur activité est évaluée à 20 millions de dollars US par an. A la différence d'autres pays asiatiques, le secteur public thaïlandais n'a que faiblement développé ses liens avec le secteur privé de recherche agricole. L'Etat aide cependant quelques entreprises privées spécialisées en biotechnologies, par l'intermédiaire de subventions, de prêts bancaires et d'une fiscalité favorable.

Aux **Philippines**, le National Science and technology Plan considère les biotechnologies comme un moyen important de développement économique et de liaisons plus étroites entre l'agriculture et l'industrie. La priorité est donnée au soja, aux plantes médicinales et au coton. Le principal centre de recherche-développement biotechnologique, BIOTECH, travaille sur l'énergie organique, la fixation de l'azote, le *reboisement*, les vaccins animaux, la fermentation et les antibiotiques. Le laboratoire de biologie moléculaire de BIOTECH poursuit des recherches sur la Rhizobia, le génie génétique et la culture des tissus.

En **République de Corée**, l'Etat subventionne 70% des dépenses de recherche-développement en biotechnologies industrielles. Depuis 1982, les programmes biotechnologiques sont organisés par le Korean Genetic Engineering Research Association regroupant aujourd'hui 19 sociétés privées aidées financièrement par l'Etat. En 1986 cependant, le secteur public ne couvre plus que 28% des coûts de recherche-développement, alors que l'industrie finance 70% des dépenses de recherche-développement. Les compagnies privées ont surtout investi dans les techniques de fermentation et dans les produits pharmaceutiques et peu en agriculture. Dans le secteur privé, le nombre total de scientifiques spécialisés dans les biotechnologies est passé de 64 en 1982 à 329 en 1988, et celui des personnes détenant un PhD a triplé sur la même période. Les programmes de biotechnologies agricoles sont coordonnés par l'Agricultural Biotechnology Research Council regroupant des chercheurs issus des instituts publics et des universités, des représentants de l'industrie et du secteur privé. La production par exemple de pommes de terre issues de la propagation clonale est passée de 12 t/ha en 1981 à 26 t/ha en 1986. La technique a par la suite été utilisée pour plusieurs variétés de fleurs et pour les fraises.

La plupart des pays asiatiques, nous venons d'en citer quelques uns, se sont ainsi orientés vers les biotechnologies vertes et ont commencé à travailler sur des techniques de génie génétique plus complexes :

- la Chine a mis au point des variétés de tabac résistant au virus CMV (Cucumber Mosaic Virus), des variétés de soja résistant aux herbicides, etc.,

- l'Inde utilise les bactéries de type *Bacillus Thuringiensis* pour contrôler biologiquement les attaques d'insectes. Elle a mis au point une collection génétique de plusieurs variétés, dont le pois chiche,
- les Philippines maîtrisent l'usage de la *Rhizobia* pour mieux fixer l'azote sur le riz et le maïs.

L'enjeu économique et alimentaire du développement des biotechnologies en Asie est essentiel, car la production agricole devra doubler dans les 25 prochaines années en veillant à ne pas dégrader davantage l'*environnement agro-écologique*. Les conditions tropicales causent actuellement de 20 à 30% de pertes de production, en raison des maladies, des insectes, des champignons et de la salinité.

Plusieurs firmes appartenant aux pays développés se sont intéressées au transfert de gènes de résistance dans les plants de tabac, de soja, de tomate (Agracetus, Monsanto Co., Ciba Geigy AG). Elles coopèrent avec quelques pays asiatiques : la Chine et la Corée principalement, car ces deux pays autorisent les brevets sur les inventions biogénétiques. Les autres pays sont plus réticents face à une protection par les brevets par crainte de voir augmenter les coûts de production agricoles, les paysans étant obligés d'acheter simultanément les semences et l'herbicide qui les accompagnent. La possibilité de mal utiliser l'herbicide ou l'intégralité du paquet technique n'est par ailleurs pas exclue et nécessite comme auparavant la prise en compte des facteurs socio-économiques et agro-écologiques des différents systèmes productifs.

Malgré les problèmes financiers, socio-économiques et de dépendance scientifique et technologique, les pays asiatiques essaient de développer leurs propres biotechnologies vertes, afin de diversifier leurs productions traditionnelles (jute, huile de palme, caoutchouc, sucre) aujourd'hui concurrencées par des produits de substitution. La *richesse de leurs ressources génétiques* les poussent de plus en plus à envisager de nouvelles valorisations pharmaceutiques, agro-alimentaires et la production d'huiles essentielles.

Selon R.B. SINGH [1989], les pays asiatiques ont non seulement intérêt à coopérer avec les CIRA et les pays développés, mais aussi à développer plus fortement une **coopération régionale** (ASEAN, SARRC)¹⁹, car de nombreux problèmes dans l'utilisation des biotechnologies leur sont communs. Ces pays maîtrisent 75% de la production mondiale de riz, jute, caoutchouc, huile de palme, noix de coco, thé, mangues, etc. Or, les cours mondiaux de nombre de ces produits connaissent des fluctuations à la baisse. La mise en commun de leur potentiel de recherches agricoles et de leur capital humain spécialisé en biotechnologies ne peut à court-moyen terme que constituer un atout par rapport aux insuffisances de leurs systèmes nationaux de recherche agricole (taille, moyens financiers, équipements).

Une tendance semblable se dessine en Amérique Latine, puisque de multiples formes de coopération scientifique et technologique ont été développées.

2.2. Les biotechnologies végétales en Amérique Latine et aux Caraïbes

En Amérique Latine et aux Caraïbes, les programmes biotechnologiques régionaux et internationaux concernent plus de 120 espèces de plantes : 12 espèces de céréales, 14 d'arbres, 12 de fruits tropicaux, 10 de légumes, 10 de plantes médicinales, 12 de plantes ornementales, etc. Au Mexique plus de 500 spécialistes participent à des programmes de recherche biotechnologique. Au Brésil, une centaine de chercheurs est engagée dans les biotechnologies agricoles.

¹⁹ ASEAN : Association of South-East Asian Nations
SARRC : South Asian Regional research Cooperation

La plupart des institutions publiques disposent de laboratoires aptes à mener des recherches sur les biotechnologies vertes. L'accent a été mis sur des programmes de coopération technique et scientifique entre **pays disposant déjà d'infrastructures** et de capital humain spécialisé dans les nouvelles technologies, tels l'Argentine (*Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria*), le Brésil (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria*), la Colombie (*Instituto Colombiano Agropecuario*), le Vénézuéla (*Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias*) et **pays plus faiblement dotés**, tels la Bolivie, la République Dominicaine, le Panama, Trinidad et Tobago.

Chaque Etat a fait le point sur ses propres besoins en biotechnologies et sur ses capacités à les mettre en place : ressources humaines, état des connaissances, science et technologie, relations entre recherche agricole publique, universités et secteur privé, biotechnologies existantes. La priorité est en général accordée aux biotechnologies agricoles rapidement disponibles. A moyen terme, l'accent est mis sur les techniques de génie génétique destinées à produire des plantes pouvant s'adapter à un environnement plus difficile (sols, sécheresse).

Une collaboration entre secteur public et secteur privé de recherches agricoles s'instaure à partir de législation sur les droits de propriété génétique (Colombie), de défiscalisation (Chili) et de *joint-ventures* avec des firmes privées (Argentine). Le développement d'un secteur privé de recherche est en effet conditionné (M. PINEIRO [1985]) par :

- la taille et la nature du marché, les perspectives de croissance économique,
- l'organisation socio-économique de la production et la nature des exploitations agricoles,
- l'importance du savoir scientifique et technologique national, l'aide du secteur public,
- l'existence d'une législation sur la propriété intellectuelle (possibilités de *breveter le vivant*).

Cela demande, dans les pays qui en ont fait le choix, une réorganisation de la recherche agricole traditionnelle, afin d'atteindre **une taille critique** (capital humain et financier) dans l'exploitation des nouvelles technologies, de répondre à l'évolution de la demande interne et externe, et de développer des relations avec des organismes publics ou privés internationaux.

En Amérique Latine, les institutions publiques de recherche agronomique ont ainsi concentré leurs efforts sur des activités de recherche fondamentale sur des variétés à débouchés locaux n'intéressant pas le secteur privé et les firmes multinationales, préoccupés par des variétés à haute valeur ajoutée commerciale. C'est le cas de la production de fruits au Chili ou de la production de légumes (broccoli) au Mexique. Dans tous les cas, cependant, le développement d'un secteur privé de recherches agricoles dépend fortement de la **qualité de l'organisation d'une recherche nationale** et de **l'encouragement de l'Etat**.

La Colombie constitue ici un exemple intéressant (C.A. FALCONI [1993], L.R. SANINT²⁰ [1995]), car elle est l'un des rares pays d'Amérique Latine à avoir institutionnellement intégré un secteur privé de recherche agricole²¹ au sein de son système national de recherches scientifiques et technologiques. L'ICA (Instituto Colombiano de Agricultura)²², structure mixte (Ministères, scientifiques, représentants du secteur privé) en est l'expression directe. Il gère tous les programmes agricoles et biotechnologiques, les transferts

²⁰ En 1993, la loi 99 créa un nouveau Ministère de l'Environnement qui entérina les principes de la Convention sur la biodiversité.

²¹ L'agriculture est un secteur économique très important (30% des emplois, 35% des exportations). En 1991, elle représente 23% du PNB. Les principales cultures exportées sont le café, la banane, les fleurs et le sucre.

²² 55% des fonds financiers de l'ICA proviennent de l'Etat, 35% de la Banque Mondiale, 8% des ventes de produits et de services, 2% des dons internationaux (CIP, CIMMYT, ISNAR, USAID, CIRAD, FAO, etc).

technologiques ainsi que la diffusion de l'information entre secteur public et secteur privé. Le secteur public de recherches agricoles peut officiellement passer des contrats avec le secteur privé dans les domaines qu'il juge **complémentaires** à ses activités. L'Etat a mis en place une stratégie de type *outward oriented* et un ensemble de mesures macro-économiques strictes : contrôle de l'inflation, des dépenses publiques, réforme fiscale, baisse des tarifs douaniers de 15%, référence aux prix internationaux, privatisation des banques agricoles, suppression des licences d'importation. Des aides sont toutefois maintenues pour les **cultures de base**, garantissant un prix minimum au producteur (blé, maïs, riz, orge). L'ICA favorise, d'ailleurs, les paquets techniques de type biens publics pour ces cultures mais ne s'intéresse que très faiblement aux techniques post-récolte. Des firmes telles que Cargill, Hoechst ont pu par exemple introduire par l'intermédiaire de distributeurs locaux des variétés de sorgho hybrides plus résistant aux maladies des zones humides ainsi que des produits agro-chimiques. De même, Floramerica, société privée, a réussi, par l'utilisation de techniques biotechnologiques, à augmenter de 20% la production de fleurs sur cinq années. Des résultats similaires ont été obtenus pour une variété de café résistant à la rouille et pour la canne à sucre (variété CC 84-75).

C.A. FALCONI [1993] remarque toutefois qu'il est globalement difficile de mesurer exactement la contribution du secteur privé de recherches agricoles dans la croissance économique. La Colombie a néanmoins cherché à établir des synergies, au travers de *joint-ventures* avec des firmes multinationales mais aussi avec des universités américaines (Cornell University, MIT University, etc) ou des instituts américains (California Biological Research Center) dans des programmes de recherche fondamentale ou de recherche biotechnologique finalisée. Le coût, le capital humain spécialisé nécessaire et les risques d'exclusion par les prix des nouveaux paquets techniques incluant des biotechnologies vertes, ont poussé la Colombie et les autres pays d'Amérique Latine à renforcer, parallèlement à l'encouragement des nouvelles techniques, leurs réseaux d'échange scientifique et technologique avec des organismes régionaux et internationaux.

Cette tendance est moins évidente en Afrique subsaharienne, sauf depuis peu dans des pays tels le Kenya, l'Ethiopie et la Tanzanie, qui ont explicitement inclus dans leur programme de développement des priorités en termes d'appui aux biotechnologies vertes. Nous nous intéresserons, nous, plus particulièrement à la région sahélienne, dont la situation économique et agro-écologique est beaucoup plus inquiétante.

2.3. Les biotechnologies végétales en Afrique subsaharienne

Peu d'informations existent sur le développement réel des biotechnologies en Afrique, car, comme nous venons de le souligner, il s'agit là d'un processus relativement récent. En 1989, une étude de l'Agence de Coopération Culturelle et Technologique (ACCT) a néanmoins montré l'existence de programmes de recherche de **niveau 1**, dans la plupart des pays subsahariens : applications biotechnologiques à court terme (clonage, culture *in vitro*, techniques de fermentation). Aucun pays n'utilisait des techniques plus sophistiquées de génie génétique, **niveau 2**, pour des raisons financières mais surtout par manque de capital humain spécialisé dans les nouvelles technologies. Quelques pays étaient, toutefois, susceptibles d'adopter ces techniques sur des variétés locales, avec selon les cas l'aide de l'ORSTOM, de l'IRHO, du CTFT et du CIRAD : le Congo (eucalyptus, manioc), la Côte-d'Ivoire (huile de palme), le Gabon (banane, plantain, manioc) et le Cameroun (sorgho, riz, maïs).

S'il est vrai que les systèmes nationaux de recherche agricole sahéliens n'ont pas atteint une taille critique leur permettant d'adopter les nouveaux progrès techniques agricoles et

d'avoir une recherche agricole scientifiquement autonome, il est vrai, par ailleurs, qu'ils n'ont pas nécessairement intérêt à développer des innovations technologiques dont seront exclus les producteurs les plus pauvres. Bien que les frontières traditionnelles entre recherche agricole publique et recherche agricole privée se soient considérablement modifiées dans la plupart des pays, en Afrique la recherche agronomique demeure encore un bien public.

A la différence de l'Asie et de l'Amérique Latine, les conditions requises pour le développement d'un secteur privé (M. PINEIRO [1985]) n'y sont pas réunies. Les producteurs conservent pour la plupart une activité d'autoconsommation et ont besoin d'une recherche agronomique encore orientée sur les cultures vivrières et sur la protection de l'environnement (dégradation des sols, désertification).

Les nouveaux enjeux d'une agriculture mondiale en voie de globalisation, et l'instabilité des cours mondiaux des matières premières ont pourtant des effets directs sur les agricultures sous-développées et risquent de restreindre le fonctionnement de la recherche agronomique traditionnelle : ajustement structurel, baisse de l'investissement agricole, innovations technologiques. Les pays sahéliens n'ont-ils alors pas intérêt à mieux coopérer en mettant en place des programmes de recherche régionaux finalisés, à l'image des pays asiatiques ou latino-américains ? Sont-ils prêts à de tels changements ?

La Banque Mondiale [SPAAR, 1993] propose non seulement de **renforcer** les recherches agronomiques nationales, mais également de développer des **pôles régionaux de recherche** avec des axes communs de travail. Les pays sahéliens pourraient en effet partager leurs savoirs respectifs sur les différents systèmes agraires en fonction des avantages comparatifs de chaque système national de recherches agricoles.

Le CILSS a identifié quelques priorités de recherche pouvant faire l'objet d'une collaboration régionale :

- la gestion et la préservation de l'environnement : sols, eau, forêts,
- l'amélioration de la production alimentaire : diversification culturale, technologies post-récolte, association élevage-culture, lutte contre les maladies des plantes et les insectes,
- la gestion stratégique de la recherche agronomique : mise en commun et conservation des ressources génétiques des différents pays, adoption des innovations biotechnologiques possibles, bibliothèques et fonds documentaires communs.

Le Burkina Faso, le Mali et le Sénégal pourraient se concentrer sur la **conservation des ressources naturelles régionales** et gérer les **programmes de recherche communs**.

Le *Burkina Faso* pourrait constituer un pôle régional spécialisé dans la conservation et le développement des ressources génétiques du maïs, le *Mali*, un pôle pour le sorgho, le *Niger*, un pôle pour le mil et le niébé, le *Sénégal*, un pôle pour l'arachide et l'élevage.

Le CILSS pourrait coordonner activement la gestion de ces pôles avec l'aide d'organismes internationaux (tel l'ISNAR) ou de programmes spéciaux (tel SPAAR), proposer des orientations scientifiques et technologiques tenant compte à la fois des mutations de l'agriculture régionale et mondiale, et des capacités d'adaptation des producteurs sahéliens. Le développement de cultures de contre-saison (légumes, fruits) ou de *niches agricoles* orientées vers la CEE ou le bassin méditerranéen compenserait probablement en partie la tendance à la baisse des principaux produits de base.

Une telle orientation pourrait être renforcée dans l'immédiat par l'utilisation de biotechnologies végétales de **niveau 1**, possible déjà dans de nombreux pays africains, et ensuite par des applications biotechnologiques de moyen terme de **niveau 2**.

Les organismes internationaux de développement (Banque Mondiale, FAO, CGIAR, CIRAD) et de nombreux projets biotechnologiques²³ encouragent d'ailleurs les pays sahéliens et l'ensemble des pays en développement à adopter la voie de ces changements techniques et scientifiques en veillant à ce qu'ils correspondent bien aux besoins de leurs agricultures, de leur situation agro-écologique et aux potentialités de leurs systèmes nationaux de recherche agricole.

Dans de nombreux pays en développement, la conservation et l'utilisation *durable* de la biodiversité peuvent néanmoins générer des coûts financiers *supplémentaires* dans les projets de valorisation agricole, qu'ils ne pourront pas assumer. La question qui se pose alors pour l'économiste est de savoir *comment les minimiser tout en ne lésant pas l'objectif de biodiversité* (cf. situation de référence ou *baseline*, typologie des valeurs de la biodiversité de la FAO [1994]).

Cela nécessite, dans un **premier temps**, de sélectionner les biotechnologies qui correspondent le mieux à cette contrainte, puis, dans un **deuxième temps**, d'en évaluer les effets directs et indirects sur les potentialités de développement dans le contexte spécifique étudié (techniques de production et les pratiques de conservation de l'environnement). Dans certains cas la minimisation du coût incrémental généré par l'utilisation notamment des nouvelles biotechnologies ne sera pas possible. Le FFEM devra alors arbitrer entre la prise en charge financière de quelques projets à coûts additionnels importants ou d'un maximum de projets à coûts additionnels moindres.

3 - Biotechnologies vertes et biodiversité.

Avant d'examiner les questions précédentes, voyons rapidement le statut des biotechnologies vertes dans la Convention sur la biodiversité.

3.1. Les biotechnologies dans la Convention sur la Biodiversité

Biodiversité et biotechnologies sont profondément dépendantes depuis plusieurs siècles dans des contextes scientifiques, technologiques et environnementaux différents.

Avec le génie génétique, l'humanité s'ouvre sur une nouvelle ère technologique. Développé depuis une vingtaine d'années, le génie génétique permet aux scientifiques de modifier quasiment toutes les formes vivantes. Son développement promet de devenir un instrument puissant de croissance agricole et économique, avec cependant des risques potentiels de limites de la biodiversité s'il est incontrôlé.

Les ressources dont il dépend (la diversité génétique et biologique mondiale) ont jusqu'à présent été gratuites. L'inégalité consiste en ce que les lieux les plus riches en biodiversité se situent dans les pays en développement, or ces derniers sont aujourd'hui globalement exclus du développement des biotechnologies, aux mains des pays industrialisés.

Les firmes privées de ces pays dominant et contrôlent la recherche biotechnologique et l'exploitation commerciale d'organismes modifiés génétiquement, grâce notamment à la possibilité de « breveter » le vivant.

La *Convention sur la biodiversité* (CBV) souhaite corriger cette inégalité entre le Nord et le Sud, puisqu'elle reconnaît à chaque nation la *souveraineté* sur les ressources génétiques

²³ C. BRENNER et J. KOMEN [1994] recensent les initiatives internationales destinées à transférer et à développer dans les pays du Tiers-Monde les biotechnologies agricoles possibles.

de son territoire, ce qui au demeurant peut générer des entraves à la libre circulation des ressources génétiques entre pays. Cela peut également limiter le rôle des centres internationaux de recherche agricole, dont l'une des fonctions est de distribuer *gratuitement* du matériel génétique aux pays ou aux chercheurs qui en font la demande, ainsi que de soutenir une politique de conservation des ressources génétiques, de sélection variétale et de transfert technologique.

L'article 16 (*Accès et transfert de technologies*) de la Convention (§1) souligne néanmoins que chaque partie contractante doit faciliter l'accès aux technologies telles les biotechnologies pour les autres parties contractantes, sans créer de dommages à l'environnement. L'article 19 (*Bénéfice des biotechnologies*) préconise lui l'association des pays en développement dans des programmes de recherches biotechnologiques des pays plus avancés. Lorsque les matériels génétiques se trouvent dans les pays en développement, leur accès et leur valorisation doivent être négociés

Les questions soulevées lors de la CBV furent également de s'interroger sur les potentialités des nouvelles biotechnologies à conserver, réduire ou élargir la biodiversité existante. La problématique de la croissance ou du développement *durable* s'inscrit bien sûr dans cette logique et a été réaffirmée au cours des négociations de l'Uruguay Round [1993], prévoyant, au sein de l'Organisation Mondiale du Commerce, une structure institutionnelle²⁴ surveillant le respect de la compatibilité entre commerce équitable et protection de l'environnement.

Les biotechnologies peuvent en effet maintenir la biodiversité à partir de possibilités nouvelles de conservation *ex situ* de cellules ou d'organismes complexes, ou bien créer, grâce notamment au génie génétique, de nouvelles variétés animales et végétales, aux caractéristiques, aux besoins et aux résistances particulières (sécheresse, maladies, herbicides, insectes, etc). Cette action peut *in situ* modifier l'usage des intrants, les fonctions de production et les systèmes productifs dépendant de milieux agro-écologiques spécifiques.

Les biotechnologies peuvent aussi offrir de nouveaux outils scientifiques et technologiques permettant la valorisation économique de ressources génétiques et de molécules dans des domaines aussi variés que l'agro-alimentaire, la santé, les cosmétiques ou d'autres produits industriels. En matière d'environnement, de nombreuses possibilités apparaissent telle l'utilisation de micro-organismes dépolluant, la réduction de l'usage des engrais et la préservation de certains écosystèmes.

La commercialisation croissante de nombreux produits issus des nouvelles biotechnologies ne s'effectuera cependant pas sans problème au niveau de la conservation de l'environnement ou de la biodiversité et de l'accès aux nouveaux progrès scientifiques et technologiques par l'ensemble des pays. Les risques et les dangers sont multiples et relativisent les potentialités offertes par les biotechnologies dans les pays en développement. La modification d'organismes vivants pourrait effectivement accroître la vulnérabilité de certaines plantes et animaux transgéniques, uniformes génétiquement. Leur interaction dans des environnements différents n'est pas toujours connue et maîtrisable ex-ante, etc.

Les obstacles majeurs dans la diffusion des biotechnologies peuvent se résumer ainsi :

²⁴ En avril 1994 à la Conférence ministérielle de Marrakech, il a été décidé de créer une structure institutionnelle sous la forme d'un Comité permanent du commerce et de l'environnement (art.IV-§ 7 de l'Accord instituant l'OMC).

Secteur agricole	Recherche agricole	Secteur industriel	Politique biotechnologique
manque de capital financier	peu de liens entre la recherche et le marché recherche descendante	absence de stratégie technologique, pb de débouchés, taille des entreprises	peu d'investissements et d'incitations de l'Etat en ce sens
comportements conservateurs	manque de ressources humaines nouvelles	peu d'alliances ou de joint ventures	politique agricole traditionnelle
difficultés de la vulgarisation agricole	inefficacité des liens recherch-vulgarisation		pas de stratégie
situation économique	baisse des budgets de la recherche	problème de compétitivité	peu de programmes, faible coopération

Ainsi, si les biotechnologies vertes constituent un outil de protection de la biodiversité, voire d'enrichissement, un moyen de diversification des produits et de profits, elles représentent également un risque pour cette même biodiversité et des coûts en capital humain et en capital financier difficilement supportables pour beaucoup de pays en développement.

De nombreux pays, tels la Chine, l'Inde, la Colombie, l'Argentine, le Mexique, Taïwan, la Corée du Sud, Singapour, ont néanmoins investi dans des projets biotechnologiques nationaux et internationaux (maladies infectieuses, vaccins anti-conceptionnels, agronomie, zootechnie, techniques de fermentation, production d'énergie par des micro-organismes), avec des résultats plus ou moins encourageants, mais sans jamais cesser d'investir dans la recherche agricole, afin d'atteindre une *masse critique* de chercheurs et de techniciens spécialisés dans les sciences de la vie, et, par conséquent, une certaine forme d'indépendance biotechnologique et économique.

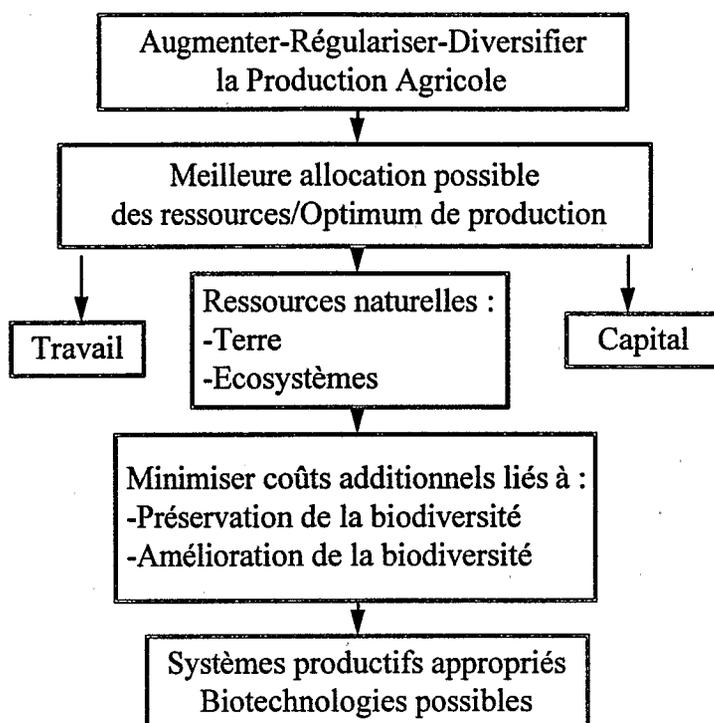
Ils confirment le fait selon lequel le changement technologique est un *processus endogène*, induit par des modifications des dotations relatives en ressources et la croissance de la demande, plutôt qu'un facteur exogène, totalement étranger à l'économie et à la société qui le mettent en oeuvre.

Comme par le passé, la transposition de nouvelles techniques de production dépendra de la taille des marchés concernés, des filières de commercialisation existantes et de la faisabilité des processus biotechnologiques par rapport à des modes de production ou de transformation traditionnels. Si de nombreuses biotechnologies agro-alimentaires se satisfont d'investissements limités (ensilage, conservation, épuration des eaux, etc.), certaines biotechnologies agricoles demandent de plus forts investissements en capital humain et financier et, par conséquent, une plus grande coopération entre institutions de recherche agricole et pays développés, ainsi qu'un partenariat réfléchi entre secteurs public et privé dans des domaines particuliers. L'Etat dans les pays en développement devra poursuivre ses efforts financiers pour les cultures d'un intérêt commercial moindre, mais d'un intérêt social fort.

3.2. Biotechnologies, biodiversité et coût incrémental

La **préservation de la biodiversité** constitue une dynamique supplémentaire à maîtriser, selon la Convention internationale sur la diversité biologique. Elle réactive les clivages entre le Nord et le Sud, car une grande partie des ressources génétiques intéressant les industriels se situent dans les pays du Tiers-Monde. Afin de concilier, d'une part, *l'utilisation des espaces naturels à des fins économiques* et, d'autre part, la *conservation de la biodiversité* pour les besoins des générations futures, de nombreux organismes de

développement souhaitent que des stratégies de conservation et d'exploitation génétiques soient mises en oeuvre avec la collaboration des populations locales des pays en développement. Certaines biotechnologies végétales et microbiennes pourraient également être utilisées. Il s'agirait alors d'évaluer les coûts supplémentaires que leur utilisation implique dans des systèmes productifs ne les utilisant pas, comme l'indique le schéma ci-dessous.



La *biodiversité* selon l'UNEP, rappelons-le, est définie comme la totalité des gènes, espèces et écosystèmes d'une région. Elle comprend par conséquent trois éléments :

- la diversité génétique,
- la diversité des espèces et
- la diversité des écosystèmes.

Les biotechnologies peuvent intervenir à chacun des niveaux précédents en créant de nouvelles espèces de plantes et d'animaux ou en améliorant celles qui existent déjà. L'accroissement, le maintien ou la réduction de biodiversité dépend cependant de plusieurs facteurs :

- l'accès libre ou non libre aux ressources biologiques (problématique de la privatisation du vivant, des droits de propriété intellectuelle, cf. première partie),
- la viabilité de la conservation ex-situ,
- la viabilité de la conservation/valorisation in-situ.

La CBV met surtout l'accent sur la **conservation in situ** au travers notamment de *zones naturelles à préserver ou à aménager*, tels les réserves naturelles et les parcs nationaux. En 1993, plus de 8500 zones protégées existent de par le monde, la plupart se situant d'ailleurs en pays sous-développés. A cette préservation institutionnelle de la biodiversité auxquelles les biotechnologies peuvent apporter des réponses de maintien de la

richesse naturelle, il faudrait ajouter le *travail de sélection et de conservation des paysans* au cours du temps.

Pour la **conservation ex-situ**, nous, pouvons prendre l'exemple des *banques de gènes*²⁵, qui gèrent trois types de collections²⁶ à des coûts évidemment variables et croissants en fonction du temps de conservation et du nombre de tests s'assurant de la conservation de l'information génétique²⁷ :

- les collections effectivement utilisées pour la reproduction ou le travail de multiplication et conservées une année,
- les collections utilisées à moyen terme, séchées et conservées entre 0° et -5° sur une période de 10-20 ans (les températures basses assurent la viabilité du matériel génétique),
- les collections de base, séchées et conservées dans des feuilles d'aluminium à des températures comprises entre -10° et -20°.

Les banques de gènes constituent une réponse à la perte de la diversité génétique sur long terme et la mémoire d'écosystèmes fragilisés par l'action des hommes et/ou de la nature. Elles ne sont néanmoins qu'un *système de précaution* qui n'agit pas sur les causes de dégradation de la biodiversité. ex. des forêts tropicales où certains estiment que 5 à 10% des espèces locales pourraient disparaître dans les 30 prochaines années. ¼ des espèces végétales mondiales disparaîtraient également si la déforestation continuait (J. MUGABE [1994]).

Les biotechnologies peuvent alors intervenir pour enrichir les collections existantes (introduction de nouveaux caractères), **améliorer in situ** le taux de régénération des forêts, accroître les résistances des variétés et ré-équilibrer les écosystèmes. De nombreuses variétés végétales et animales sont déjà modifiées génétiquement (*), testées localement (**), ou protégées par des brevets (***) :

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| - le blé (**) | - l'orange (***) |
| - le riz (**) | - la banane (***) |
| - le maïs (**) | - l'avoine (***) |
| - la pomme de terre (**) | - la pomme (**) |
| - l'orge (**) | - la noix de coco (**) |
| - le manioc (***) | - le chou (**) |
| - la patate douce (***) | - le seigle (***) |
| - le soja (**) | - le coton (**) |
| - la canne à sucre (**) | - la betterave (**) |
| - la tomate (***) | - le mil (***) |
| - le raisin (***) | - le melon (**) |
| - le sorgho (***) | - l'oignon (***) |
| | |
| - la carpe (*) | |
| - la truite (*) | |
| - le saumon (*) | |
| - le poulet (*) | |
| - la vache (*) | |

²⁵ Il existe aussi les jardins botaniques.

²⁶ Ces collections peuvent prendre la forme de graines, tissus, pollen, ovules, etc. Dans le monde, 131 pays conservent des ressources génétiques agricoles, auxquels il faut ajouter 10 CIRA. Au total, 4.35 millions d'échantillons végétaux sont stockés et préservés ex-situ, aux frais des pays développés.

²⁷ Au moins 85% de l'échantillon testé doit germer.

- le porc (*)
- la brebis (*), etc.

Pour les variétés *brevetées* ou protégées et à condition qu'elles participent aux objectifs de biodiversité, d'augmentation, de régularisation et de diversification de la production agricole, nous pouvons envisager leur *prise en charge financière par le FFEM*. Les CIRA et/ou les SNRA en assumeraient la faisabilité in situ. Les $\frac{3}{4}$ des brevets déposés dans le monde sont en effet détenus par les firmes multinationales des cinq pays les plus riches.

En définitive, il conviendrait dans les projets de développement où intervient un coût incrémental :

- 1 - de réaliser un *inventaire des ressources biologiques* présentes sur les terrains choisis et d'en évaluer les utilisations réelles et potentielles,
- 2 - d'étudier les *interactions* entre les systèmes socio-productifs et les systèmes agro-écologiques,
- 3 - d'examiner et de comprendre les *intérêts des acteurs publics et privés*, agissant aux niveaux local, régional, national et international,
- 4 - de définir le *type de biotechnologies* qui préserveraient la biodiversité et la viabilité des systèmes productifs locaux.

Comme nous l'avons vu dans la première partie un certain nombre de biotechnologies végétales et microbiennes pourraient être encouragées dans les agricultures en développement et les projets impliquant des *coûts incrémentaux*, sans que les coûts financiers, infrastructurels ou en capital humains ne soient nécessairement excessifs (propagation clonale, culture de méristème, production d'engrais organiques, d'enzymes industriels, etc.). Il s'agit surtout d'applications possibles à court terme (moins de 3 ans), déjà utilisées par de nombreux pays en développement car elles font plus appel aux *méthodes biologiques conventionnelles*, qu'aux techniques de pointe de la biologie moléculaire.

Le renforcement des capacités nationales dans la maîtrise et l'utilisation des ressources génétiques et des nouvelles technologies agricoles est donc une priorité pour les pays en développement et passe nécessairement par des programmes de formation solides, destinés à accroître l'expertise des chercheurs nationaux dans des domaines prometteurs. La prise en charge des coûts incrémentaux générés par le respect de la CBV ne sera toutefois pas durable et les pays en développement doivent envisager d'autres formes ou d'autres types de conservation/amélioration de leurs ressources génétiques, faisant appel à des partenaires plus diversifiés. Nous citerons l'exemple du Costa Rica (W. REID et al. [1993]), bien qu'il en existe d'autres évidemment, Chine, Corée²⁸, etc.

Au Costa Rica, la création de l'*Instituto Nacional de Biodiversidad* (INBIO) est en grande partie due au géant pharmaceutique américain MERCK, prenant en charge la rémunération des chercheurs et la constitution d'une base de données très complète sur les espèces végétales locales. En échange de la transmission d'informations sur les ressources naturelles de INBIO à MERCK et de la possibilité par ce groupe d'utiliser ces ressources dans ses propres recherches biotechnologiques, le Costa Rica est assuré d'avoir une part des bénéfices retirés par la firme de brevets déposés sur des produits utilisant les ressources

²⁸ Accord Corée/Monsanto. Monsanto, groupe chimique multinational américain a été autorisé à exploiter commercialement l'amélioration génétique des variétés de tabac coréen.

naturelles du Costa Rica. Dans ce cas particulier, la privatisation de ressources naturelles nationales est un moyen a priori efficace, puisqu'il fait coïncider les intérêts privés liés au développement de futurs produits pharmaceutiques, utilisant des ressources biologiques appartenant à un pays en développement et les intérêts généraux de conservation et de valorisation économique des ressources naturelles de ce pays.

L'expérience n'est évidemment pas reproductible dans tous les pays, notamment ceux qui sont pauvres en ressources naturelles et dont l'administration du développement est inefficace. Pour ces derniers plus particulièrement, des formes de coopération bi ou multilatérales devront être créées ou renforcées.

Il en existe déjà au niveau de la CEE-Directions Générales XII et XIII, au travers de différentes actions RDT (Recherche et Développement Technologique), susceptibles de répondre aux besoins des pays en développement. Cela concerne principalement les Directions : XII-B (coopération avec les pays tiers et les organisations internationales), XII-E (sciences et technologies du vivant) et XIII-D (diffusion et valorisation des résultats des actions de recherche et développement technologique, transfert technologique et innovation). Avec un budget total de 12,3 billions d'Ecus, le quatrième *Framework Programme* (1994-1998) met l'accent sur les biotechnologies (552 millions d'Ecus), la recherche dans les domaines de l'environnement et de l'énergie (1854 millions d'Ecus), la formation et la mobilité des chercheurs (774 millions d'Ecus), etc. Certains résultats obtenus pourraient être transférés dans les pays en développement avec l'aide d'organisations régionales et/ou internationales. La CEE a d'ailleurs déjà financé :

- une étude au Sénégal portant sur la fixation de l'azote à partir de molécules de type *Sesbania Rostrata*,
- une étude au Mexique, sur la tolérance des céréales à la sécheresse (maïs),
- une étude au Brésil, sur les virus de la pomme de terre.

Le CIRAD de Montpellier, dont les échanges avec les pays en développement, et notamment l'Afrique, sont anciens et scientifiquement diversifiés, a créé trois sociétés, qui travaillent sur des biotechnologies vertes pouvant intéresser de nombreux pays en développement. Il s'agit de PROSEM SA. (riz, maïs, sorgho, canne à sucre, manioc, etc), VITROPIC SA. (fruits tropicaux) et TROPICLONE (huile de palme). Elles peuvent breveter leurs résultats dans de nombreux domaines agricoles ou agro-alimentaires (R. MASSALA [1989]).

Les travaux des CIRA en Côte d'Ivoire sur la multiplication in vitro du palmier à huile sont également remarquables et ont été diffusés à de nombreux pays africains et asiatiques. La rapidité de la production d'hybrides par rapport aux méthodes traditionnelles a permis une augmentation de la production de 20 à 25% (B. TOURE, [1989]), sans effets négatifs sur l'environnement.

En définitive, la modification des logiques de fonctionnement et des rôles des secteurs public et privé nécessite le renforcement et la diversification des réseaux d'échange régionaux et internationaux, publics et privés :

- des projets régionaux sahéliens, financés par le CILSS, la FAO, l'USAID, le FED ou l'ORSTOM, ont par exemple été réactivés dans les domaines de lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières, les nématodes de l'arachide, les criquets pèlerins et le reboisement,
- en Colombie, une coopération s'est établie avec des universités américaines (Cornell et Purdue) sur un café transgénique (L.R. SANINT [1995]),

Le CGIAR²⁹, créé il y a une vingtaine d'années, devrait d'ailleurs davantage appuyer cette réorganisation en augmentant plus nettement ses dépenses annuelles, estimées à 280 millions de dollars en 1990 (C. BRENNER [1991]); ce qui, comparé à l'ensemble des dépenses publiques de recherche agricole dans le monde, ne représente que 2%. La France à elle seule, avec l'ORSTOM et le CIRAD, consacre plus de *100 millions de dollars* pour la recherche agricole des pays tropicaux.

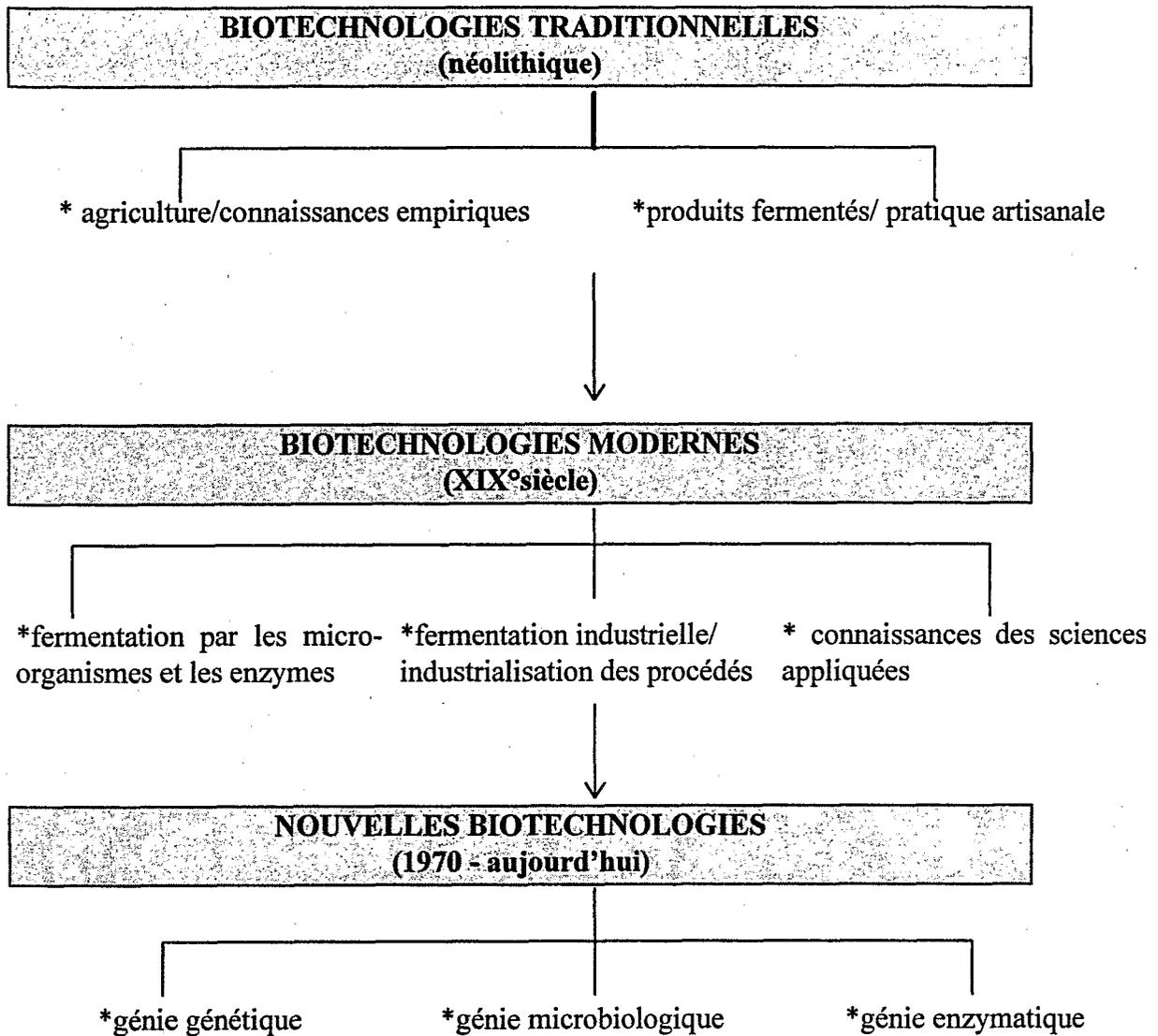
De même, le poids de l'International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB), installé en 1988 à l'initiative de l'ONUDI à Trieste-Italie et New-Delhi-Inde, demande à être accru. L'institut de New-Delhi est spécialisé dans la recherche sur les biotechnologies végétales, la malaria et autres maladies virales. Il contribue énormément à la formation de scientifiques ou de techniciens du Tiers-Monde dans ces domaines divers. Son rôle demeure toutefois plus *conceptuel* qu'opérationnel.

En résumé, nous pouvons dire que mondialisation et globalisation n'épargnent aucun pays, a fortiori s'il est sous-développé, donc plus vulnérable de par ses spécialisations agricoles et sa situation économique. La recomposition, au-delà des frontières nationales, des processus de production génère des changements dans la répartition des richesses, dans la diffusion du savoir et dans la relation entre l'Etat et le marché, qui ne peuvent laisser *inactifs* les pays en développement, particulièrement au niveau des biotechnologies.

²⁹ Une quarantaine de donateurs (gouvernements, fondations privées, organisations internationales telle la Banque Mondiale, etc.), appartenant au CGIAR, fournissent un soutien à un réseau actif de 17 centres internationaux de recherche agricole, dont la vocation est l'aide à l'agriculture du Tiers-Monde et le renforcement des systèmes nationaux de recherche agricole.

ANNEXE 1

« Développement des biotechnologies »



Source : d'après C.DUCOS et P.B.JOLY, [1993]

ANNEXE 2

« Evolution du progrès technique agricole »

Historiquement l'agriculture a évolué de systèmes agricoles *labour-intensive*, de faible productivité, vers des systèmes intensifs incorporant de plus en plus de savoir, de science et de capital :

Phase 1 : nature.

Cycles biologiques + sélection des plantes et des animaux + fertilisants naturels.

Phase 2 : mécanisation.

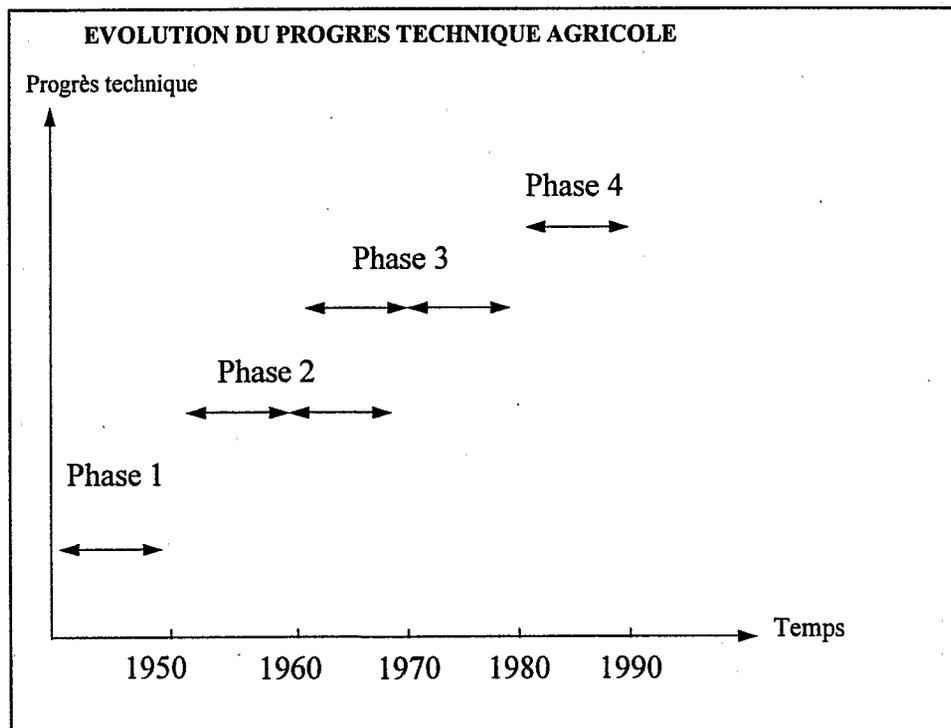
Semences améliorées + irrigation + tracteurs.

Phase 3 : révolution verte.

Nouvelles variétés à haut potentiel de développement (hybrides) + irrigation + engrais, fongicides, pesticides.

Phase 4 : biotechnologies.

Culture des tissus + techniques de l'ADN recombinant + transgénose animale et végétale



BIBLIOGRAPHIE

- ABDESSELEM F.** [1994], "Recherche agronomique, structures de développement et politique économique dans un pays sous-développé : la recherche agronomique tropicale au Sénégal, un facteur de production à développer dans le contexte de la bio-révolution". *Thèse de Doctorat de Sciences Economiques*, Faculté des Sciences Economiques-Université Aix-Marseille II, Aix-en-Provence, 14 octobre.
- ALAM G.** [1994], "Biotechnology and sustainable agriculture : lessons from India", OCDE, *Technical Papers* N°103, december.
- BOXUS P.** [1989], "La multiplication *in vitro*, une biotechnologie intéressante pour le développement. Des perspectives industrielles", *Annales de Gembloux*, n°3, 3e trimestre, pp. 163-181.
- BRENNER C.** [1991], "Biotechnologies, maïs et développement". *L'Observateur de l'OCDE*, n°171, août-septembre 1991, pp.9-12.
- BRENNER C., KOMEN J.** [1994], "International initiatives in biotechnology for developing countries agriculture : promises and problems", *Technical Papers* N°100, Paris, OCDE-Development Center, october 1994.
- BUTTEL F.H.** [1989], "The socio-economic impact of biotechnologies on developing countries", in CTA [1989], *Plant biotechnologies for developing countries*, The Trinity Press, UK, pp. 1101-1119.
- CHAVERRA H.** [1989], "Current status of plant biotechnologies in Latin America and the Caribbean", in CTA [1989], *Plant biotechnologies for developing countries*, The Trinity Press, UK, pp. 163-173.
- CTA** (Technical centre for agricultural and rural cooperation), [1989], *Plant biotechnologies for developing countries*, The Trinity Press, UK.
- DEMARLY Y.** [1989], "Technical aspects of plant biotechnologies on developing countries", in CTA [1989], *Plant biotechnologies for developing countries*, The Trinity Press, UK.
- DEO S., SWANSON L.** [1990], "Structure of agricultural research in the Third World", in CAROLL R., VANDERMEER H., ROSSET P., *Agroecology* (Chapitre 22), New-York, Mc Graw-Hill, Publishing Company, 1990.
- DUCOS C., JOLY P.B.** [1988], *Les biotechnologies*, Paris, Editions La Découverte.
- DUCOS C., JOLY P.B.** [1993], *Les artifices du vivant : stratégies d'innovation dans l'industrie des semences*, Paris, INRA-Economica.
- FALCONI C.A.** [1993], "Public and private sector interaction in agricultural research in less developed countries : the case of Colombia", The Hague, Netherlands : ISNAR Discussion Paper n°93-14, may.
- FAO** [1989], "Plant biotechnologies for developing countries". *International symposium on plant biotechnologies for developing countries*, Luxembourg (368 p).
- GRILICHES Z.** [1986], "Productivity, R-D and basic research at the firm level in the 1970's", *The American Economic Review*, vol.76, n°1, march 1986, pp.141-154.
- GROS F.** [1990], *L'ingénierie du vivant*, Paris, Editions O.Jacob.
- GROSSMAN G., HELPMAN E.** [1991], *Innovation and growth in the global economy*, London, The MIT Press, Cambridge Massachussets.
- HAYAMI Y., RUTTAN V.** [1985], *Agricultural development, an international perspective*, Baltimore, John HOPKINS, University Press, 1971, (réédition en 1985).
- HOBBELINK H.** [1988], *La biotechnologie et l'agriculture du Tiers-Monde : espoir ou illusion ?*, Paris, Editions Equilibres.

- KHALFAOUI J.L.B.** [1991], "Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse : cas de l'arachide au Sénégal", in AUPELF-UREF, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, Paris, John Libbey Eurotext, pp.51-63.
- LE BAS C.** [1991], Economie du changement technique, Paris, Ministère de la Recherche et de la Technologie.
- LEPOIVRE P., SEMAL J.** [1989], "Biotechnologie appliquée aux plantes : les contraintes d'amont et d'aval". Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux. Séminaire sur les biotechnologies appliquées à l'Afrique, Dakar, 28 février-1^{er} mars 1989, pp.151-162.
- MASSALA R.** [1989], "Plant biotechnologies in Sub-Saharan Africa today", in CTA [1989], Plant biotechnologies for developing countries, The Trinity Press, UK, pp. 120-130.
- MUGABE J.** [1994], "Technological capability for environmental management : the case of biodiversity conservation in Kenya", *PhD Thesis*, Amsterdam, University of Amsterdam.
- N'DIR B.** [1989], "Etude microbiologique de m'bannick, lait fermenté acidifié du Sénégal". Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux-Belgique, Séminaire sur les biotechnologies appliquées à l'Afrique. Dakar, 28 février-1^{er} mars 1989, pp.245-251.
- OKONKWO S.N.C.** [1992], "Biotechnologies et gestion des ressources naturelles". WHYDAH, Bulletin d'informations, Tome 3, n^o2, Académie Africaine des Sciences, pp.1-9.
- PHILLIPS B.J.** [1989], "Les brevets, freins ou accélérateurs de la concurrence?", L'Observateur de l'OCDE, n^o159, août-septembre 1989.
- PINEIRO M.** [1985], "Agricultural research in the private sector : issues on analytical perspectives", The Hague, Netherlands : ISNAR.
- PINEIRO M.** [1986], "The development of the private sector in agricultural research : implications for public research institutions", The Hague, Netherlands : ISNAR.
- SOLLEIRO-REBOLLEDO J.** [1995], « Biotechnology and sustainable agriculture : the case of Mexico », *Technical Papers* N^o105, Paris, OCDE, January.
- REID W.** et al. [1993], "Biodiversity prospecting : using genetic resources for sustainable development", World Resources Institute, Instituto Nacional de Biodiversidad, Rainforest Alliance and the African Centre for Technology Studies, Washington DC.
- SANINT L.R.** [1995], « Crop biotechnology and sustainability : a case study of Colombia », *Technical Papers* N^o104, Paris, OCDE, January.
- SASSON A.** [1983], Les biotechnologies : défis et promesses, Paris, UNESCO.
- SASSON A.** [1989], "Biotechnologies and developing countries : present and future", in CTA [1989], Plant biotechnologies for developing countries, The Trinity Press, UK.
- SCHULTZ T.W.** [1969], Transforming traditional agriculture, Studies in Comparative Economics, 1964, New Haven and London Yale University Press, (4^e édition 1969).
- SINGH R.B.** [1989], "Current status and future prospects of plant biotechnologies in developing countries in Asia", in CTA [1989], Plant biotechnologies for developing countries, The Trinity Press, UK, pp. 141-163.
- SPAAR** [1991], Revitalizing agricultural research in the Sahel. A proposed framework for action, Washington, October 1991.
- TOURE B.** [1989], "The impact of plant biotechnologies on developing countries", in CTA [1989], Plant biotechnologies for developing countries, The Trinity Press, UK, pp. 95-101.