

Les biotechnologies et les grands défis de l'avenir dans l'agriculture et l'agroalimentaire

Alain Deshayes

Dans tous les pays développés, les pouvoirs publics ont pris, au début des années 80, des mesures importantes pour stimuler l'expansion des biotechnologies et les situer au rang des priorités nationales. En France, elles ont pris la forme d'un programme mobilisateur dont le monde scientifique et industriel s'accorde aujourd'hui pour reconnaître qu'il a eu des effets positifs. La Communauté économique européenne a lancé des programmes (BAP, BEP, BRIDGE, BIOTECH), avec des financements importants, dont l'objectif était, *in fine*, de donner aux industriels de sensibles avantages dans la compétition mondiale [1]. L'*Office of technology assessment*, dans un rapport publié en 1984 [2], présentait les biotechnologies comme un moyen pour les États-Unis de retrouver leur première place mondiale dans les domaines de la santé et de l'agriculture. Enfin, de nombreux ouvrages et conférences internationales, ainsi que les initiatives des grandes institutions internationales ont, ces dernières années, consacré les biotechnologies comme « la » chance des pays en développement [3, 4].

Lorsque l'on relit aujourd'hui les textes et les documents écrits dans les années 80 sur les perspectives ouvertes par les biotechnologies pour l'agriculture et l'agroalimentaire, on est frappé par deux aspects.

Premièrement, les perspectives n'ont pas fondamentalement évolué, bien que les connaissances de base aient progressé d'une manière notable. Les outils de la biologie cellulaire et de la biologie moléculaire ont confirmé leur puissance extraordinaire pour l'approfondissement des connaissances sur le fonctionnement du vivant. Mais les objectifs d'application n'ont pas varié pour autant, même si des informations supplémentaires ont permis d'en préciser la pertinence.

Deuxièmement, le nombre de produits issus des biotechnologies reste encore limité, ce qui contraste avec l'optimisme, affiché alors par certains, qui laissait supposer leur essor rapide.

Malgré ces remarques liminaires, il n'est pas inutile de rappeler les perspectives offertes par les biotechnologies, puis de tenter d'analyser les raisons de la lenteur apparente du développement des produits biotechnologiques. Cela amènera ensuite à tenter d'identifier les grands défis auxquels auront à faire face l'agriculture et le monde rural dans les prochaines décennies. Enfin, dans ce contexte, sera située la place que devraient ou pourraient prendre les technologies nouvelles, issues de la biologie cellulaire et de la biologie moléculaire, dans la résolution des grands problèmes agronomiques.

Les perspectives offertes par les biotechnologies

Grâce aux outils issus de la biologie cellulaire et de la biologie moléculaire, non seulement les scientifiques peuvent étudier les phénomènes biologiques au niveau le plus fin, celui de l'information génétique, mais ils sont aussi en mesure de proposer des stratégies d'action entièrement nouvelles dans des domaines aussi variés que la santé, l'agriculture, l'agroalimentaire et l'environnement, voire même l'énergie et les matériaux [5]. Pour la première fois dans l'histoire de la biologie, des outils permettent en effet de transgresser certaines contraintes biologiques, comme la reproduction conforme des organismes et le contournement de barrières liées à la reproduction sexuée. Et c'est ainsi que les technologies nouvelles issues des sciences du vivant, les biotechnologies, constituent les éléments préparant à une véritable révolution biologique dans les secteurs de l'agriculture et de l'agroalimentaire. De ce point de vue, ce qui a été appelé la « révolution verte » caractérise davantage les innovations liées à la mécanisation et à la chimie et s'apparente plus à un concept médiatico-politique qu'à une réalité biologique, même si l'apport de la génétique a été réel. La pratique de l'amélioration des plantes a été en effet de fournir simultanément les semences améliorées et le « paquet technologique » représenté

A. Deshayes : INRA, 147, rue de l'Université, 75007 Paris, France.

par les façons culturales et les quantités « optimales » d'engrais et de pesticides à appliquer.

Les techniques de culture *in vitro* pour les cellules et les tissus

Dans le domaine végétal, certaines techniques de culture *in vitro* ont d'ores et déjà été adoptées, en routine, par les pépiniéristes pour la multiplication des clones élites et par les sélectionneurs pour améliorer l'efficacité de certaines étapes de la sélection.

La multiplication végétative *in vitro* permet des gains de productivité jamais atteints dans aucun autre secteur. Par exemple, une seule personne peut produire, au moins théoriquement, 130 000 plants *in vitro* par an à partir d'un seul pied de rosier, alors que par la technique traditionnelle du bouturage *in vivo*, il n'est possible d'en produire que 50. Ce gain de productivité, de l'ordre de 2 500, n'a jamais été égalé dans aucun autre secteur industriel. Cette technique est utilisée, au stade de la production, pour un grand nombre d'espèces florales, orchidées, œillet et gerbera notamment, mais également pour des plantes tropicales comme le palmier à huile ou la banane. La culture d'embryons somatiques en milieu liquide est de mieux en mieux maîtrisée et elle constituera un moyen de multiplication efficace et peu coûteux pour des espèces comme le café, le cacao ou l'hévéa. La technique d'haplo-diploïdisation permet de s'affranchir du long processus de rétrocroisements nécessaire à l'homogénéisation génétique des individus utilisés comme parents d'hybrides ou destinés à constituer de nouvelles variétés (céréales). Chez les végétaux encore, la technique de sauvetage *in vitro* d'embryons permet d'obtenir des structures hybrides, entre espèces apparentées, qu'il aurait été très peu probable d'obtenir par la voie sexuée (*Helianthus*).

Chez les animaux, l'insémination artificielle permet de privilégier la production d'animaux génétiquement typés pour des caractères bien définis (reproduction, viande, lait). Les techniques de fécondation *in vitro* et de clonage, au cours du développement, devraient constituer des outils efficaces pour optimiser les processus de sélection. En

effet, la possibilité de pouvoir disposer de plusieurs animaux identiques génétiquement devrait permettre de mieux dissocier les effets génétiques de ceux de l'environnement. La technique des hybridomes, qui sont des produits de fusion entre certains types de cellules animales, permet la production d'anticorps monoclonaux [6] dont les utilisations sont multiples dans les domaines du diagnostic, qu'il s'agisse du suivi des processus de fermentation ou de la détection d'agents pathogènes chez l'homme, les animaux et les plantes ou encore dans des aliments.

En ce qui concerne les microorganismes, une meilleure maîtrise des conditions de culture, basée en particulier sur des études génétiques et physiologiques, a conduit à l'optimisation des procédés, mais aussi à l'utilisation de nouvelles souches pour la production de divers types de molécules (enzymes, arômes, colorants...).

Les techniques de la biologie moléculaire

L'analyse moléculaire des génomes permet d'isoler des séquences d'ADN spécifiques d'un organisme ou d'un caractère précis, sans que celui-ci ait besoin d'être exprimé. Utilisées comme « sondes », ces séquences nucléiques ont d'ores et déjà un champ d'application très large. Elles permettent la détection de pathogènes au cours des procédés de fabrication, dans des aliments ou dans des écosystèmes (sols, populations d'organismes...). Mais elles permettent également de sélectionner à un stade très précoce du développement (embryon ou jeune plantule) les individus porteurs d'un caractère d'intérêt : sexe, résistance à une maladie, tolérance à des conditions particulières de milieu, aspects variés de la qualité, comportement agronomique.

Il est vraisemblable que les applications les plus marquantes et les plus immédiates de la biologie moléculaire se situeront dans les domaines du diagnostic et de l'aide à la sélection. Mais les sondes moléculaires sont également appelées à jouer un rôle important dans la mise en place des réglementations sur la propriété industrielle. Elles permettent en effet d'identifier les organismes et d'authentifier la qualité des semences et des embryons.

Le génie génétique

La principale révolution technique apportée par les biotechnologies réside dans les possibilités offertes par le génie génétique [7]. Il est désormais possible d'introduire un gène d'origine quelconque dans n'importe quel organisme, pourvu que les séquences qui contrôlent l'expression du gène soient reconnues par la cellule hôte. Cette possibilité, encore théorique dans un certain nombre de cas, transgresse complètement toutes les barrières de la sexualité.

Le génie génétique a un intérêt scientifique considérable car il rend possible la décomposition de processus biologiques complexes en éléments simples. Autrement dit, il permet d'identifier des gènes ayant une fonction déterminée, au cours d'une étape précise du développement par exemple, ainsi que d'étudier le mode d'action de ces mêmes gènes. Il augmente la puissance des études sur les interactions pathogènes/organismes hôtes, ainsi que la pertinence des études sur les relations structure/fonction des molécules.

Le génie génétique ouvre donc des perspectives, théoriquement illimitées, comme conférer à un organisme un caractère déterminé ou faire produire par un organisme ou par des cellules en culture des molécules d'intérêt industriel. L'industrie agroalimentaire devrait largement bénéficier de telles avancées techniques [8]. En particulier, la construction de souches microbiennes, mieux adaptées à des conditions de température, de pH ou de concentration saline imposées par les conditions de production, s'en trouve facilitée. De même, il est possible de construire des souches capables d'améliorer le rendement d'un processus (meilleure utilisation du maltose par des levures de boulangerie), ou de réaliser de nouvelles fonctions (fermentation des dextrines par des levures de brasserie). La production de protéines, ayant ou non des propriétés enzymatiques, peut être améliorée ; c'est déjà le cas pour la chymosine, les lipases, les protéases, ou les phytases. Enfin, de nombreux travaux sont en cours pour sélectionner et construire des microorganismes capables de produire *in situ*, au cours de l'élaboration d'un aliment, des composés nutritifs ou organoleptiques, voire même des antioxydants ou des colorants.

Summary

Biotechnologies and challenges for the future in agriculture and agrofood

A. Deshayes

Biotechnologies, from the beginning of the 80s in developed and most developing countries, have been considered strategic factors in the agrofood, pharmaceutical and agricultural sectors. In public institutions and private companies, substantial worldwide investment has been put into promoting biological research.

Thanks to these new technologies, scientists can now study live processes at the molecular level and put forward new solutions to old problems. Cell technologies, such as plant micropropagation, haploidisation or the use of hybridoma, are routinely used by breeding and diagnostic companies. Molecular biology techniques provide new tools for studying genome structure at the DNA level, and specific probes — enabling organisms or genes of interest to be characterised — have been identified. In theory, genetic engineering makes it possible to change the genetic information of any organism by the specific addition of a given gene. The number of papers on these techniques attest to their scientific value. They also open the doors to adapting organisms to different culture conditions or specific needs. Considering the amount of work, imagination and innovation going on in laboratories, we can expect some serious benefits to the agriculture and agrofood industries.

However, biotechnologies did not

move forward as fast as the industry expected and few products are on the market yet. There are a number of reasons for this : on the one hand, scientists underestimated the scaling-up and economic constraints in marketing the innovations and, on the other hand, industry underestimated the sociological and legislative constraints in developing products derived from genetic engineering. In addition, scientific and technical progress is no longer perceived in the west as the inevitable path to social and economic progress.

The present paper attempts to inverse the thinking and look first not at the technologies but the social and economic questions in defining the main objectives for agronomic research. On a worldwide scale, there are three major questions to be answered over the coming decades :

— feeding people in countries where population growth outstrips the increase in agricultural production ;

— respecting and managing the environment for sustainable development : this is potentially the biggest challenge for the future ;

— and developing national and regional areas in a balanced manner : it is hard, if not unacceptable, to conceive of societies organised into a few crowded cities with a countryside deserted but for the few people required to work it.

The role of applied research, such as agricultural, is to translate socio-economic demands into research programmes. This is where the use of new technologies will take on their full scope and importance. Examples of this can be seen in five research objectives :

— developing new strategies for plant and animal protection and alternative farming practices to reduce the use of chemicals ;

— identifying the genetic components for stress-resistance or nutritional/technological quality for improved raw material production ;

— diversifying crop and animal production for consumer and industrial needs ;

— controlling sexual reproduction in plants and animals ;

— and, managing rural land as a global entity and not simply a production zone.

Bearing in mind that scientific results do not predetermine any kind of developmental model, our concern is to make technology work towards the social and economic development desired. Lastly, understanding the consequences of taking a given technological route, not only in terms of the environment and human health but also the social and economic situation, is also becoming increasingly important.

Cahiers Agricultures 1994 ; 3 : 51-8.

Chez les plantes, quelque cinquante espèces cultivées sont maintenant accessibles à la transformation génétique et environ vingt d'entre elles, exprimant des caractères d'intérêt agronomique, ont déjà fait l'objet d'expérimentations en champ. Les principaux gènes introduits dans des plantes portent sur des caractères agronomiques, tels que des

résistances à des herbicides, à des pathogènes et à des insectes, et sur des caractères touchant à la qualité des produits, tels que le contenu en protéines, en acides gras ou en amidon, ou encore portant sur la modification de la cinétique de maturation des organes consommés (tomate FLAVR-SAVR de Calgene). Des essais ont aussi

eu lieu pour faire produire, par des graines de colza ou des tubercules de pomme de terre, des protéines d'intérêt industriel ou pharmaceutique (protéines humaines : sérum albumine, hormone de croissance, interleukine, facteur VIII ou enzyme bactérienne : lysozyme). Cela étant, aucune plante génétiquement modifiée n'est encore

sur le marché, bien qu'on l'ait déjà annoncé pour le coton (résistance à un lépidoptère), la tomate (résistance au virus de la mosaïque du concombre, contrôle de la maturation, résistance à des herbicides), la pomme de terre (résistance à un coléoptère), le tabac (résistance à un herbicide) et le chrysanthème (coloration de la fleur). Chez les animaux d'élevage, les résultats sont moins spectaculaires parce qu'il est plus difficile et plus coûteux d'obtenir une vache ou un porc transgénique qu'une plante ou un microorganisme transformé génétiquement. Cependant, des animaux génétiquement modifiés ont été obtenus chez une dizaine d'espèces, dont le boeuf, le porc, le mouton, la chèvre, le lapin, le poulet, la truite et le saumon. De nombreux travaux sont en cours pour faire produire des protéines d'intérêt industriel dans le lait (activateur du plasminogène humain, érythropoïétine, lactoferrine, α -1-antitrypsine) ou le sang (hémoglobine humaine) de certains animaux. Plusieurs sociétés ont d'ailleurs déjà été créées avec cet objectif. A plus long terme encore, il n'est pas déraisonnable de penser qu'il sera possible d'obtenir des animaux résistants à des maladies ou améliorés pour la qualité de leur lait ou de leur viande. La création de nouveaux vaccins permettra un meilleur contrôle de la diffusion de certaines pathologies favorisées par l'accroissement de la circulation des animaux et des produits animaux dans les échanges internationaux. La production d'un vaccin oral contre la rage est, de ce point de vue, très encourageant.

On peut donc s'attendre, aux cours des prochaines décennies, à ce que les biotechnologies conduisent à une amélioration substantielle de la production agricole, tant au niveau quantitatif que qualitatif. Mais cela ne doit pas faire oublier que les innovations techniques provenant de la génétique, de la mécanisation et de la chimie ont déjà profondément modifié l'agriculture des pays développés au cours des cinquante dernières années. Les gains de productivité ont été, pendant cette période, au moins deux fois supérieurs à ceux de tous les autres secteurs économiques. Sur la base de ce qui précède, et qui révèle un très grand potentiel d'innovation dans les laboratoires, il importe de se poser deux questions :

- pourquoi les biotechnologies ne se sont-elles pas développées aussi rapidement que certains le pronostiquaient ?
- les biotechnologies sont-elles susceptibles d'apporter un réel progrès économique et social ?

Des espoirs exagérés et des contraintes mal évaluées

Les biotechnologies se caractérisent par deux paradoxes. Elles englobent des outils fondamentalement nouveaux et d'une puissance extraordinaire, tel le génie génétique, et, pourtant, elles n'ont pas connu l'essor spectaculaire que certains prévoyaient au début des années 80. Elles permettent des approches de fabrication totalement nouvelles et, malgré cela, elles n'ont pas vocation à devenir un nouveau type d'industrie. En fait, il s'agit de contradictions apparentes. Tout d'abord, nombreux sont ceux qui ont surestimé tout à la fois les délais quasi incompréhensibles des phases de développement et les contraintes économiques qui exigent qu'un nouveau procédé apporte un réel avantage compétitif sur le marché. Ensuite, compte tenu du caractère générique de ces techniques, elles ne pouvaient trouver leurs domaines d'application que dans des activités industrielles existantes.

Cette situation traduit le fait que les processus de diffusion des innovations sont plus complexes qu'on pouvait le penser au début des années 80. On peut tenter de l'expliquer par des erreurs d'appréciation commises par les acteurs aux deux extrémités du processus d'innovation.

Des erreurs d'appréciation

Les scientifiques, tout d'abord, ont eu tendance à considérer qu'il suffisait d'avoir mis au point, dans les laboratoires, de nouvelles techniques pour que, compte tenu de leur puissance, elles soient automatiquement et immédiatement adoptées par l'industrie. Sans doute faut-il voir dans cette attitude l'expression d'un contresens sur la notion d'innovation. Celle-ci est en effet très souvent synonyme, dans les

milieux scientifiques, de progrès techniques résultant de découvertes scientifiques. En réalité, dans le vocabulaire industriel, la notion d'innovation se réfère le plus souvent à tout ce qui permet d'améliorer les marges ou d'augmenter les parts de marché, mais très rarement à la recherche. Par exemple, l'innovation peut ne concerner que la formulation ou la présentation d'un produit, comme cela est encore fréquent dans l'agroalimentaire où la valeur ajoutée sur les produits est faible.

De leur côté, les industriels, qui ont investi très tôt dans les biotechnologies, ont sous-estimé les contraintes, réglementaires et sociologiques, qui entravent le développement des produits issus du génie génétique. Monsanto avec la BST en a fait la cruelle expérience.

Le poids des réglementations et le rôle de l'opinion

L'autorisation de mise sur le marché d'un produit suppose que ce dernier satisfasse à un certain nombre de critères réglementaires. Or les réglementations sont de plus en plus nombreuses et parfois très contraignantes, voire imparfaitement définies. De telles situations peuvent incontestablement constituer des freins à la diffusion des innovations. Ainsi, le fait que le statut des produits alimentaires constitués par des organismes génétiquement modifiés, ou extraits de ces derniers, soit encore incertain, n'est pas de nature à favoriser l'innovation dans ce domaine [9].

Un produit nouveau doit être accepté par les consommateurs et, s'agissant de ceux issus du génie génétique, il ne semble pas qu'ils y soient encore très favorables [10]. Il y a certes de grandes différences d'attitude d'un pays à l'autre, mais cela ne peut constituer un facteur sécurisant pour qu'une entreprise, ayant le marché mondial en point de mire, s'engage dans la mise au point de produits qui risquent de ne pas être achetés. Outre les aspects éthiques qui concernent essentiellement les applications sur l'homme, les applications du génie génétique à l'agriculture et à l'agroalimentaire soulèvent en effet, au sein de la société, deux types de problèmes. L'un est lié aux risques

éventuels qui pourraient en résulter pour l'environnement et la santé humaine, l'autre concerne l'acceptation par l'opinion des produits qui résultent directement ou indirectement d'une intervention du génie génétique. Si le premier aspect peut être assez facilement cerné et maîtrisé [11-13], il en va tout autrement pour le second. La rationalité du scientifique ou de l'ingénieur face à une innovation donnée se heurte souvent à la perception différente qu'en a le public. C'est faute de ne pas avoir suffisamment pris en compte ce paramètre que l'on est aujourd'hui dans une situation paradoxale. Il est en effet théoriquement possible de fabriquer mieux des produits de meilleure qualité, mais qui ont toute chance d'être refusés parce qu'ils ne satisfont pas à certains critères d'adoption par l'opinion. Il s'avère même qu'il suffit d'une faible fraction de l'opinion pour décourager un industriel d'utiliser le génie génétique pour la fabrication d'un produit. On l'a vu récemment avec l'abandon, au moins provisoire, par Campbell Soup, de toute idée de fabrication de sauce tomate avec des plantes transgéniques, parce que les environnementalistes américains avaient menacé de lancer une campagne de boycott contre les produits de la firme [14].

Enfin, une technique et les produits qui en découlent ne peuvent être largement diffusés que s'ils sont couverts par une protection juridique adaptée. Or, les systèmes de protection des innovations, jusqu'alors en vigueur, ont été déstabilisés par l'émergence du génie génétique qui confère à tout gène une valeur économique potentielle [15,16]. Des débats nombreux et passionnés ont eu, et ont encore lieu et, l'on peut en comprendre l'importance puisqu'il s'agit de fixer les règles d'accès à la diversité génétique et d'appropriation de la valeur ajoutée conférée aux organismes et aux produits résultant d'une action biotechnologique.

Les progrès techniques mis en question

L'impact des biotechnologies ne peut s'analyser en faisant abstraction du

contexte économique et social dans lequel celles-ci sont amenées à se développer. Or, l'observation de nos sociétés et des problèmes auxquels elles sont confrontées conduit, ou devrait conduire, les scientifiques à s'interroger d'une manière nouvelle sur le rôle social des progrès scientifiques et techniques. De nombreux indices portent en effet à dire qu'il y a aujourd'hui une rupture entre la logique du progrès scientifique et technique et celle du progrès social. Contrairement à l'idéologie qui nous a imprégnés pendant ces dernières décennies, l'augmentation des connaissances ne conduit plus nécessairement à une amélioration des conditions de vie de l'homme car les logiques industrielles apparaissent de plus en plus en contradiction avec une logique sociale. « *Le progrès n'est désormais plus pour l'homme une promesse sans limite et sans fin* » constatait, dans son manifeste d'avril 1993, le groupe de Seillac [17]. La recherche de la productivité maximale, dans la « guerre économique » actuelle, passe, en particulier, par la modernisation des moyens de production et l'optimisation des processus de production par l'apport de techniques nouvelles sans cesse plus performantes. Mais, cette « modernité », qui permet de produire mieux, davantage et plus rapidement, s'accompagne d'une réduction d'effectifs et devient synonyme de licenciements. Aux États-Unis comme en Europe, le nombre d'emplois industriels ne cesse de diminuer et se retrouve au niveau où il était à la fin des années 60. En France, la part des emplois industriels est passée de 35,6 à 28,8 % de 1968 à 1992. La population active agricole, qui représentait le quart de la population active totale française en 1954, n'en représente plus aujourd'hui qu'à peine 4 %. Par ailleurs, la part des emplois offerts dans les services est arrivée, semble-t-il, à un plafonnement. Autant dire que tout emploi qui est aujourd'hui supprimé dans un secteur n'a plus de contrepartie dans un autre secteur, comme cela était encore le cas dans les années 70. Aussi, voit-on aujourd'hui de plus en plus de commentateurs et de décideurs se poser la question angoissante du devenir d'une société dans laquelle une grande partie de la population n'aurait aucune chance de trouver un emploi.

C'est toute la cohésion sociale qui serait en effet déstabilisée par une telle évolution. Dans ce contexte, les progrès techniques ne sont donc plus perçus comme des vecteurs de l'amélioration des conditions de vie de l'homme ; cela, même si, bien évidemment, ils ne sont pas les seuls facteurs en cause dans les difficultés que traversent actuellement nos sociétés développées.

Cette situation ne peut manquer de soulever des questions lorsque l'on discute de l'intérêt des biotechnologies comme facteur de développement de l'agriculture des pays en développement. Il ne convient pas ici d'analyser les conséquences sociales, économiques et politiques du processus de « modernisation » de l'agriculture au cours des cinquante dernières années. Mais on peut toutefois constater que celui-ci a abouti, avec les drames que l'on connaît, en Europe, à la révision de la Politique agricole commune [18] et, au sein du GATT, aux âpres discussions sur le commerce international des produits agricoles. Cette situation est le reflet du manque de réflexion qu'il y a eu sur l'aboutissement d'une trajectoire de développement définie seulement sur des critères d'augmentation de la production et d'innovations technologiques.

Nombre de pays sont donc amenés aujourd'hui, par la force des choses et sous des formes diverses, à s'interroger sur la finalité de leur recherche agronomique : des pays développés parce que les politiques menées depuis plusieurs décennies ont conduit à une forme d'impasse sociale et économique et des pays en développement parce que, malgré les efforts entrepris, la production agricole n'est pas en mesure de nourrir correctement une population par ailleurs en augmentation constante. Dans ce contexte, ce n'est pas la fuite en avant technologique, comme certains ont tendance à le faire avec les biotechnologies [19], qui fournira seule les éléments de solutions durables aux grands défis de l'avenir.

Les grands défis de l'avenir

Les grandes questions de nature agromatique, pour la solution desquelles

les technologies nouvelles seront sollicitées, sont multiples mais, avant de les évoquer, il est nécessaire de préciser le contexte dans lequel elles vont se situer. Trois grands défis, de nature planétaire, vont dominer les prochaines décennies et devront constituer les bases de la définition des missions et des objectifs de la recherche agronomique.

Nourrir une population en augmentation constante

Si le problème de la suffisance alimentaire est, pour l'essentiel, résolu dans quelques pays développés d'Europe de l'Ouest, d'Asie et en Amérique du Nord, cela est encore loin d'être le cas ailleurs. Certes, les problèmes n'ont pas la même acuité en Pologne, au Brésil, en Côte-d'Ivoire ou au Viêt-nam mais, d'une manière générale dans ces pays, la population est en augmentation constante. Nourrir correctement la population mondiale constitue donc un défi majeur pour la production agricole.

Respecter et mieux gérer l'environnement

Il y a un consensus de plus en plus large pour reconnaître que nous vivons dans un espace limité avec des ressources non renouvelables. Il y a là un autre défi majeur qui doit nous conduire à définir des itinéraires techniques plus respectueux de l'environnement et qui assurent une utilisation durable des terres arables. Dans un rapport récent, la FAO mettait d'ailleurs en garde contre l'augmentation inquiétante des superficies de terres arables -lesquelles ne représentent que 11 % des terres émergées- rendues impropres à toute culture en raison d'une exploitation inadaptée ou irraisonnée ; 305 millions d'hectares auraient déjà été ainsi perdus. Toujours selon le même rapport, plusieurs millions d'hectares seraient menacés en Afrique faute d'un apport suffisant en engrais pour remplacer les éléments minéraux perdus.

Mais l'environnement ne se limite pas à l'espace strictement agricole et la prise en compte des problèmes globaux de l'environnement devrait aussi constituer une préoccupation centrale pour la recherche.

Aménager le territoire d'une manière équilibrée

Il est vraisemblable qu'une partie des problèmes de l'agriculture et du monde rural provient de ce que le développement de l'espace rural n'a, jusqu'à présent, pas été pris dans sa totalité sociale et culturelle autant qu'économique. L'espace rural ne peut en effet être conçu uniquement comme une somme d'espaces de production agricole gérés selon des critères uniformes.

Dans les régions européennes, comme dans beaucoup d'autres régions du monde, les racines historiques, culturelles et sociales plongent dans les campagnes. Quiconque a eu l'occasion de voyager dans de telles régions a pu mesurer les liens étroits qui existent entre les paysages, les structures d'organisation sociale, les types d'architecture et les formes d'expression artistique. Or, cette histoire et ce patrimoine ne peuvent être préservés que dans la mesure où l'homme peut continuer à vivre de son travail dans de telles régions. Il y a là une situation bien différente de celle que l'on peut observer dans les espaces nord-américains, où les grandes plaines n'ont d'autre valeur que celle de fournir l'outil de travail permettant la production agricole. La mise en jachère, ou même l'abandon de terres cultivables, n'y a pas la même signification que celle qu'elle peut avoir dans des régions chargées d'histoire et de culture.

Par ailleurs, on ne peut envisager sérieusement de concevoir un territoire qui serait constitué, d'une part, de mégapoles industrielles et, d'autre part, de zones rurales à densité de population juste « nécessaire » pour assurer la production agricole. Ce serait prendre le risque :

- de voir s'entasser dans ces mégapoles une population sans travail et aux conditions de vie précaires, comme cela peut déjà s'observer dans certains pays développés et en développement ;
- de marginaliser une partie de la population dans des zones sans activité économique significative ;
- et, enfin, de ne plus pouvoir assurer l'entretien de l'espace.

Un aménagement du territoire équilibré constitue donc le troisième défi majeur pour la recherche agronomique

qui devra, en priorité, rechercher une meilleure gestion de l'espace pour contribuer au maintien des activités agricoles dans des conditions économiques acceptables.

Dans un contexte global mieux défini, les missions et les objectifs à assigner à la recherche agronomique apparaîtraient alors plus clairement. Et l'apport des avancées scientifiques et techniques, tel qu'il a été évoqué précédemment, ne risquerait pas, dans ces conditions, de sembler être artificiellement plaqué sur des perspectives floues et des modèles de développement inadaptés.

Les objectifs de recherche à privilégier

Le rôle de la recherche finalisée, donc en particulier de la recherche agronomique, est de traduire de grands objectifs socio-économiques en programmes de recherche. Et c'est dans ce cadre que la nature des recherches et les domaines d'application des techniques qui en découlent trouveront toute leur signification et toute leur ampleur.

A titre indicatif, on peut identifier cinq grands objectifs autour desquels pourrait s'organiser la recherche agronomique.

La réduction des intrants

La diminution de l'usage des pesticides et des engrais, alliée à une meilleure gestion des terres arables, nécessite des études sur l'impact des systèmes de culture et d'élevage sur l'environnement et, sur les mécanismes de résistances aux pathogènes et aux prédateurs. Cela implique la mise en œuvre de recherches sur la biologie des populations, l'assimilation des éléments minéraux par les plantes, la nature des interactions hôte/pathogène et l'identification de gènes de résistance. De telles recherches fourniront ainsi des moyens d'action permettant une meilleure gestion des populations et des écosystèmes par des méthodes de culture et d'élevage adaptées, la construction d'organismes plus tolérants aux pathogènes, l'élaboration de nouvelles molécules à intérêt prophylactique, la

mise en œuvre de méthodes de lutte biologique ou la création de nouveaux vaccins.

L'amélioration de la production

D'une manière générale, les aspects qualitatifs de la production agricole doivent aujourd'hui être privilégiés par rapport aux aspects quantitatifs, tout en gardant à l'esprit que les augmentations de rendement peuvent être, dans certains cas, des objectifs incontournables.

Les recherches sur la biologie de l'adaptation aux facteurs de l'environnement doivent conduire à l'identification des déterminants génétiques de la tolérance à des stress particuliers tels que salinité des sols, chocs thermiques (hautes et basses températures), ou sécheresse. Les résultats attendus permettront un meilleur choix des variétés végétales et des races animales adaptées à des environnements variés et à des systèmes de culture ou d'élevage particuliers.

L'identification des déterminants de la qualité nutritionnelle, organoleptique ou technologique des productions agricoles, végétales et animales, passe par des recherches sur la biologie du développement qui associent des approches génétiques, physiologiques et biochimiques. Les résultats que l'on peut en attendre permettront non seulement d'augmenter la satisfaction que les consommateurs tirent de leur alimentation, mais aussi d'adapter la qualité des produits à des besoins spécifiques. Enfin, menées en parallèle, les études sur la biologie de la nutrition et la sécurité alimentaire constituent des compléments indispensables à l'élaboration des concepts de base de la qualité.

Diversification des productions

La recherche de productions de substitution, pour couvrir des besoins alimentaires mais aussi pour une utilisation industrielle, suppose une meilleure description de la variabilité génétique qui, seule, permettra sur le long terme une gestion efficace de la diversité biologique, à la fois dans son aspect préservation et dans son aspect conservation. Mieux gérer les ressour-

ces génétiques suppose également de mener des études pour la détection qualitative et quantitative de certains types de molécules (enzymes, principes actifs pour la phytoprotection ou la pharmacologie) et pour la description de certaines voies de biosynthèse (amidon, sucres, acides gras...).

Contrôle de la reproduction

La construction d'organismes mieux adaptés à des conditions d'utilisation et à des besoins spécifiques nécessite un meilleur contrôle des processus de reproduction, ce qui suppose des études sur la biologie de la floraison chez les végétaux et sur la biologie de la gamétogenèse chez les animaux, ainsi que des études sur la fécondation et la biologie du développement des embryons.

Gestion de l'espace

La prise en compte de l'espace rural dans sa globalité impose que des recherches conjointes soient menées par des biologistes, des agronomes, des sociologues et des économistes. De telles recherches doivent aider au choix des productions agricoles et des systèmes de culture et d'élevage, mais elles doivent également aider au choix des innovations techniques et à la prise de décisions sur les formes qui doivent présider à leur mise en œuvre. Toutefois, le suivi et l'analyse des évolutions qu'engendrent ces choix doivent être assurés de manière à permettre, en dehors des situations de crise, les ajustements nécessaires.

Gérer l'espace, c'est aussi mettre en œuvre des techniques de dépollution et de traitement des déchets industriels, urbains et agricoles. La recherche doit de plus contribuer à améliorer et à développer des procédés pour diminuer la production de ces déchets et pour permettre le recyclage des produits usagés.

Pour tous ces domaines de recherche, les techniques de la biologie cellulaire et de la biologie moléculaire ne font qu'offrir des voies d'approches nouvelles qui, selon les cas, peuvent être plus rapides et plus efficaces que les voies dites classiques. Mais, en aucune manière, elles ne peuvent constituer une voie d'approche exclusive.

Conclusion

Il importe de réaffirmer, que pour faire face au développement des industries de l'agroalimentaire, des diverses formes d'agriculture et des problèmes de pollution de l'environnement qui en découlent, les éléments de solutions que l'on peut attendre des progrès scientifiques sont nombreux. Mais il faut toujours garder à l'esprit qu'un progrès scientifique n'a pas, pris isolément, une nécessaire vertu innovatrice et ne prédétermine pas un type de développement plutôt qu'un autre. Il faut également prendre en compte le fait que la diffusion des innovations techniques passe par des chemins variés et complexes. Et, s'agissant des biotechnologies, et du génie génétique principalement, il faut accepter que l'opinion publique puisse se méfier, voire même refuser un certain type de progrès technique parce que les conditions de son acceptation ne sont pas réunies. De plus en plus en effet, elle veut connaître les conséquences des choix technologiques, non seulement en terme de sécurité pour l'environnement et la santé humaine, mais également en terme d'organisation sociale et économique [20, 21]. Il est donc urgent de mieux resituer les conditions du progrès technique dans le contexte plus large du devenir souhaité de nos sociétés ■

Références

1. Commission of the European Communities. *Eurofutures : the challenge of innovation*. Bruxelles : Forecasting and assessment in science and technology (FAST), 1984 ; 180 p.
2. Office of Technology Assessment. *Commercial biotechnology : an international analysis*. Washington DC : US Congress, 1984 ; 612 p.
3. Persley G.J. Beyond Mendel's garden : biotechnology in the service of world agriculture. In : Persley G.J, ed. *Biotechnology in agriculture n° 1*, CAB International. Oxon, Tucson, Kuala Lumpur : ISNAR, ACIAR, AIDAB, World Bank, 1990 ; 166 p.
4. Sasson A, Costarini V, eds. *Biotechnologies in perspectives. Future oriented studies*. Paris : Unesco, 1991 ; 166 p.
5. National Research Council. *New directions for biosciences research in agriculture ; high reward opportunities*. Washington DC : National Academy Press, 1985 ; 122 p.
6. Houdebine LM. Des anticorps à volonté. *Cahiers Agricultures* 1993 ; 2 : 356-7.

7. Académie des Sciences et Comité des Applications de l'Académie des Sciences. *Les techniques de transgénèse en agriculture, applications aux animaux et aux végétaux. Rapport commun n° 2*. Londres, Paris, New York : Lavoisier, 1993 ; 154 p.

8. Deshayes A. Biotechnologies par germes modifiés. *Bull Acad Natl Med* 1992 ; 176 : 1317-25.

9. Chataway J, Tait J. La réglementation du risque : un frein à l'innovation ? *Cah Econ Soc Rur* 1992 ; 24-25 : 161-76.

10. Durant J, ed. *Biotechnology in public : a review of recent research*. Londres : Science Museum, European Federation of Biotechnology, 1992 ; 201 p.

11. Deshayes A. Les risques présentés pour l'environnement par les plantes transgéniques. In : *Les applications des biotechnologies à l'agriculture et à l'industrie agroalimentaire*. Paris : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 1991 ; 1827 : 439-78.

12. Deshayes A. La transgénèse végétale : risques éventuels pour l'environnement et la santé humaine. *Cahiers Agricultures* 1993 ; 2 : 270-6.

13. Houdebine LM. Les risques présentés pour l'environnement par les animaux transgéniques. In : *Les applications des biotechnologies à l'agriculture et à l'industrie agroalimentaire*. Paris : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 1991 ; 1827 : 425-38.

14. Seabrook J. Tremors in the hothouse. *The New Yorker*. 1993 ; July 19 : 32-41.

15. Bifini P. Brevet sur le vivant : débats et controverses. *Cah Econ Soc Rur* 1992 ; 24-25 : 177-88.

16. Hermitte MA. La protection de l'innovation en matière de biotechnologie appliquée à l'agriculture. In : *Les applications des biotechnologies à l'agriculture et à l'industrie agroalimentaire*. Paris : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 1991 ; 1827 : 115-290.

17. Groupe de Seillac. *Agricultures, société et territoires. Pour une politique européenne*. Avril 1993.

18. Jacquet F. La réforme de 1992 : un tournant dans l'histoire de la Politique agricole commune. In : *Déméter 93 : économie et stratégies agricoles*. Paris : Éd. Armand Colin, 1993 : 13-73.

19. Buttel FM. Le caractère idéologique du développement des biotechnologies aux États-Unis. *Cah Econ Soc Rur* 1992 ; 24-25 : 77-92.

20. Hunter D. To live as natives, free of fears : what citizens should require from animal biotechnology. In : Fessenden McDonald J, ed. *Animal biotechnology : opportunities and challenges*. Ithaca, New York : National agricultural biotechnology council, report 4, 1992 : 133-9.

21. Lacy WB, Busch L. The fourth criterion : social and economic impact of agricultural biotechnology. In : Fessenden McDonald J, ed. *Agricultural biotechnology at the crossroads ; biological, social and institutional concerns*. Ithaca, New York : National agriculture biotechnology council, report 3, 1991 : 153-68.

Résumé

Depuis le début des années 80, les biotechnologies sont considérées comme des domaines stratégiques, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Les perspectives fantastiques qu'elles peuvent offrir, dans l'agriculture et l'agroalimentaire en particulier, ont justifié d'importants efforts de recherche de la part des institutions publiques et des industriels. Pourtant, les biotechnologies ne se sont pas développées aussi vite qu'annoncé et les produits qui en sont issus sont encore peu nombreux. Les scientifiques et les industriels, chacun dans sa spécialité, ont en effet sous-estimé les contraintes à la diffusion des innovations dans le domaine des biotechnologies et du génie génétique en particulier. De plus, les progrès scientifiques ne sont plus perçus aujourd'hui, du moins dans les pays développés, comme des garanties automatiques de progrès social et économique.

Il importe donc d'inverser les raisonnements et de partir des grands enjeux socio-économiques, et non des technologies, pour définir les objectifs de la recherche agronomique. Dans un tel contexte, les biotechnologies, dont les potentialités sont immenses, il faut le réaffirmer, s'intégreront dans des perspectives claires au service d'un type de développement souhaité.

JL John Libbey
EUROTEXT



Vient de paraître

DANIÈLE LATIN
AMBROISE QUEFFELEC
JEAN TABI-MANGA
1993, broché, 480 pages
200 FF.

Prix préférentiel : Afrique, Asie, Amérique du Sud, Haïti, **80 FF***

INVENTAIRE DES USAGES DE LA FRANCOPHONIE : NOMENCLATURES ET MÉTHODOLOGIES

Collection actualité scientifique
co-édition John Libbey
Eurotext/AUPELF-UREF

NOM Prénom

Adresse.....

.....

Désire recevoir

Inventaire des usages de la francophonie
soit au prix de 230 F (200 F + 30 F de port)
soit au prix de 110 F* (80 F + 30 F de port).
Ci-joint mon règlement à l'ordre de
John Libbey Eurotext 6, rue Blanche,
92120 MONTROUGE, FRANCE
Tél. : (1) 47.35.85.52.