

## Contexte socio-économique des secteurs d'application des biotechnologies

Stavropoulos A.

*in*

Demarly Y. (ed.).  
Place et rôle des biotechnologies dans les systèmes de recherche agronomique des pays méditerranéens

Zaragoza : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 14

1991

pages 11-22

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=92605108>

To cite this article / Pour citer cet article

Stavropoulos A. **Contexte socio-économique des secteurs d'application des biotechnologies**. In : Demarly Y. (ed.). *Place et rôle des biotechnologies dans les systèmes de recherche agronomique des pays méditerranéens*. Zaragoza : CIHEAM, 1991. p. 11-22 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 14)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# Contexte socio-économique des secteurs d'application des biotechnologies

**A. STAVROPOULOS**

VIORYL S.A., Terma Kato Kiffissia

KIFFISIA ATTIKI (ATHENS), GREECE

**RESUME** - Grâce à la recherche exhaustive menée pendant ces dernières années dans les domaines de la biotechnologie, la microélectronique, l'informatique et la communication, nous pouvons prévoir avec optimisme l'avenir de l'économie mondiale. Nous espérons une expansion du marché due à la libéralisation des économies des pays d'Europe de l'Est. Ce dernier événement est important, car la production agroalimentaire du bassin méditerranéen est en partie complémentaire de celle des pays du Nord, en raison des conditions climatiques et géographiques. Cette expansion du marché que l'on observe déjà dans tous les domaines - agricole, industriel, de la distribution, de la restauration - nous amène à une collaboration plus étroite face aux coûts de plus en plus élevés que nous devons affronter, ce que nous ferons aidés par une organisation scientifique meilleure et plus efficace. L'utilisation de nouvelles méthodes biotechnologiques pour le développement des cultures (culture de tissus de cellules, embryogénèse, méthodes faisant appel au génie génétique), de concert avec les méthodes d'amélioration classiques, nous mènera à la création de nouvelles variétés et hybrides possédant une résistance accrue aux herbicides et insectes, à la salinité, au gel, ainsi qu'un meilleur rendement et de meilleure qualité. La qualité est un élément qui va prendre une importance grandissante au cours des années à venir. En ce qui concerne le domaine vétérinaire, pour le diagnostic et le traitement des pathologies animales, les résultats de la recherche se font déjà sentir, et nous mèneront à la création de nouvelles races améliorées. Nos efforts doivent porter sur la réduction des déficits et l'utilisation des excédents de la production agricole. La collaboration des scientifiques appartenant aux différentes disciplines aura pour but l'élaboration de nouveaux produits diététiques et substances chimiques à partir des hydrates de carbone, des produits et sous-produits de l'agriculture. Ces nouvelles orientations permettront de réduire les importations, et de tracer de nouvelles voies pour les cultures. L'utilisation de cellules végétales et microbiennes, les techniques enzymatiques pour les transformations chimiques, ainsi que l'exploitation des ressources naturelles renouvelables, doivent se poursuivre et se développer ultérieurement. La recherche devra se poursuivre en ce qui concerne les méthodes de phytoprotection biologique et les systèmes intégrés de lutte contre les insectes pour les méthodes respectant l'équilibre environnemental (phéromones, hyperparasites, agents microbiens, induction de la stérilité, contrôle des cultures, alimentation antimétabolites, attractifs et répulsifs chimiques). Il est donc nécessaire de mieux comprendre la physiologie et biochimie des végétaux afin de mettre au point un système de fertilisation moins empirique, qui tienne compte des besoins biochimiques réels des plantes. Il faut donc intensifier la recherche sur les bactéries symbiotiques et les innovations concernant l'irrigation et les techniques culturales. Quant au secteur alimentaire, la production de denrées de meilleure qualité et l'amélioration des techniques de production, auront comme résultat des produits d'un goût meilleur (et) répondant aux tendances nutritionnelles actuelles, avec moins de calories, anticholestérolémiques, non cancérigènes, et en même temps bien plus savoureux. C'est le défi auquel doivent répondre les scientifiques, agriculteurs et industriels en travaillant en étroite collaboration pendant la dernière décennie du 20<sup>ème</sup> siècle.

**Mots-clés :** Agro-alimentaire - Hygiène alimentaire - Valeur alimentaire - Nutrition - Arômes - Valeur culinaire - Biotechnologies - Méthodes de sélection - Bioréacteurs - Transformation génétique.

**SUMMARY** - "Socio-economic background for various fields of application of biotechnologies". The extensive research over the past years in the fields of biotechnology, microelectronics, computers and communications permits an optimistic forecast for the future of the world economy. A further enlargement of the market is expected, due to the liberation of the economies of the East European countries. The last event is important because Mediterranean agri-food production is partly complementary to that of the Northern countries, because of climatic and geographic conditions. This market expansion is observed in all areas: agriculture, industry, distribution, catering, and forces to a tighter collaboration in order to confront increased expenses by means of a better and more efficient scientific organization. The exploitation of new biotechnology methods for plant development (cell tissue cultures, embryogenesis, genetic engineering methods) in conjunction with conventional breeding methods will produce new varieties and hybrids with increased resistance to herbicides, pests, salinity, frost, combined with higher yields and better quality. In the future the issue of quality is becoming of increasing importance. In the veterinary section, in diagnostic and treatment of animal diseases, the results of research are already visible and will continue towards the production of improved breeds. Efforts must be oriented to the restriction of deficits and the exploitation of the agricultural production surplus. The collaboration of scientists of different disciplines aiming at new more dietary products and at the production of chemicals from carbohydrates and agricultural products and byproducts. These developments will help in the restrictions of imported goods and the re-orientation of cultivations. The use of plant and microbial cells and enzyme techniques for the chemical transformations and the use of renewable natural resources must be continued and further extended.

*Further research is needed on biological phytoprotection methods and integrated pest management systems that be environmentally sound (pheromones, predators, microbial agents, sterility induction, cultural control, antimetabolite feeding, chemical attractants and repellants).*

*A better understanding of plant physiology and biochemistry is necessary in order to proceed to a less empirical fertilization system, taking into account the real biochemical needs of the plants. Research on symbiotic bacteria and innovations in irrigation and plantation techniques must be intensified.*

*In the food sector, the production of better quality products and the amelioration of the production methods, will result in better tasting consumer items in accordance with the current trends in nutrition, offering thus products with less calories, anticholesterogenic, cancer protection, and at the same time tastier.*

*These are the challenges for the scientists, agriculturalists and industrialists closely collaborating during the last decade of the 20<sup>th</sup> century.*

**Key words:** *Agro-food - Food hygiene - Nutritional value - Nutrition - Flavours - Cooking value - Biotechnologies - Selection methods - Bioreactors - Genetic transformation.*

## Introduction

Notre époque est caractérisée par une progression très rapide et constante des sciences de la vie, de la biotechnologie et de la microélectronique. Ces progrès nous placent dans la perspective d'un accroissement de productivité et d'une amélioration de la vie.

Parallèlement, l'horizon politique est maintenant plus clair et l'espoir de voir s'établir une collaboration plus cordiale entre les nations devient plus probable. Nous sommes, de plus, dans l'expectative de voir plus de ressources mises à la disposition de la recherche et moins à celle de l'armement. Déjà la Communauté a montré sa faveur envers des laboratoires européens sans murs. De plus, l'aide aux pays en voie de développement sera plus efficace. Ces événements vont intensifier les tendances existantes, concernant le commerce international dont l'augmentation des pourcentages est à la fois surprenante et consolante. Les prévisions des analystes en économie sont en général optimistes pour l'avenir de l'économie mondiale.

Ce serait une erreur, en examinant les perspectives du secteur agro-alimentaire, de ne pas mentionner la libéralisation progressive des économies des pays de l'Est. Il s'agit d'un immense marché de plus de 300.000.000 habitants. Il est probable que la

libéralisation économique de ces pays, qui disposent d'un potentiel technologique remarquable, conduira à une augmentation de la capacité d'échange de produits agroalimentaires, surtout parce que leur production, pour des raisons climatiques et géographiques, est complémentaire de celle des pays ensoleillés du bassin méditerranéen.

On doit considérer encore trois facteurs en corrélation avec la réforme de l'économie mondiale :

- a) La révolution technologique. Les innovations, apportées tant pour les procédés de production que pour la production elle-même.
- b) L'important accroissement des marchés internationaux en comparaison avec le développement économique des nations.
- c) La réforme des économies des pays en voie de développement et ses effets sur la politique des pays industrialisés.

Il faut noter que, maintenant, c'est l'économie internationale qui dirige tout, les économies nationales ne font que suivre. Les pays qui ignorent cette vérité sont condamnés à rester en marge du marché. De plus, on doit souligner l'influence des progrès, effectués dans les communications et télécommunications, sur l'économie, influence qui peut être comparée à l'établissement du chemin de fer au 19<sup>ème</sup> siècle.

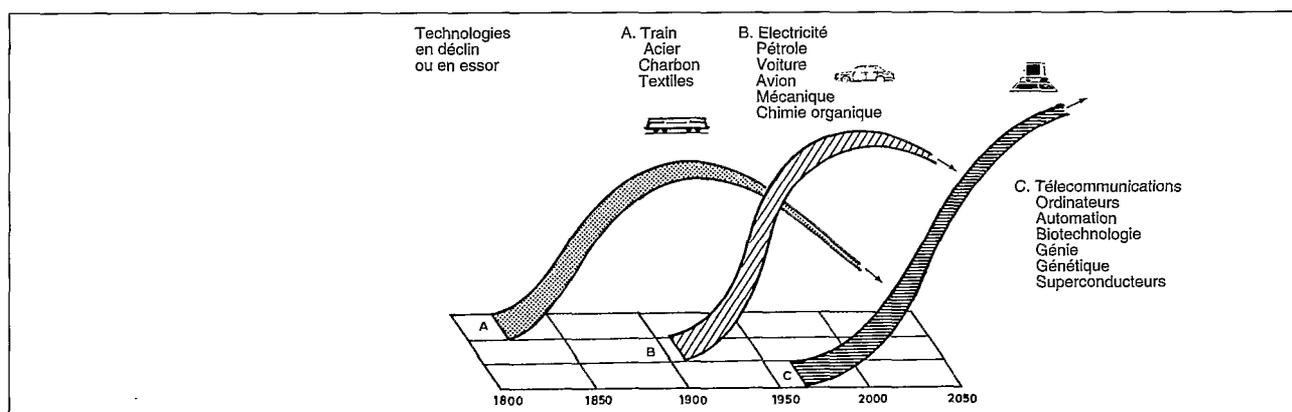
L'influence des événements économiques et des communications rapides est déterminante sur les économies locales.

Ces progrès seront d'autant plus rapides que les nouvelles technologies de télécommunication (satellites, fibres optiques, télévision) poursuivront leur expansion à des rythmes exponentiels.

L'élargissement des communications aux pays en voie de développement, permet maintenant aux informations de voyager très vite dans des régions inaccessibles il y a encore quelques années.

D'autre part, le développement de la biotechnologie plus lent et moins spectaculaire que celui de la microélectronique, mais très constant, a commencé à porter ses fruits et ceci nous permet de déterminer une importance grandissante à l'aube du nouveau siècle. Son importance économique sera probablement plus étendue que celle de l'électronique.

La combinaison de deux technologies de pointe (microélectronique et biotechnologie), permet maintenant des progrès importants dans la recherche fondamentale et des résultats concrets de cette association seront très bientôt disponibles.



Les "super-ordinateurs neuronaux" de demain l'ultramicroscopie, les rayons-X et Laser et des instruments d'analyse et de synthèse très sophistiqués sont déjà disponibles pour être utilisés.

Le décodage du génome humain (contenant 6 milliards de bases) et d'autres microorganismes, ouvrira sans doute de nouvelles voies pour la biotechnologie.

La biotechnologie traite de la promotion de l'exploitation et de la gestion de progrès considérables accomplis récemment dans le domaine de la compréhension et de la maîtrise des matières et des systèmes vivants, progrès qui nous permettent d'intervenir sur les macromolécules d'ADN des microorganismes et de modifier en bien ou en mal les sols, les océans et l'atmosphère de la planète.

N'oublions pas que le secteur agricole ne doit pas être isolé du reste de l'économie. Ses activités sont étroitement liées à celles des autres secteurs : industrie et services. Sans doute, agriculture et industrie sont complémentaires et leur relation deviendra chaque jour plus étroite au fur et à mesure que l'humanité observera l'épuisement des ressources pétrolières, l'augmentation de la pollution et la dégradation générale de l'environnement.

## Le secteur agricole

### Priorités définies par la Communauté Européenne

Ces multiples défis qui se développent dans l'agriculture, les sciences, la technologie et l'industrie, offrent des espoirs et des perspectives d'avenir mais aussi des risques et des incertitudes. Notre seule certitude est d'être confrontés à un changement stratégique et qu'il faut nous y préparer et anticiper. Ces mots, extraits du "Livre vert" de la Communauté Européenne (publié en 1985 et traitant du grand débat sur l'avenir de la politique agricole communautaire), sont toujours d'actualité.

Les problèmes principaux envisagés par la Communauté où, dans les domaines agricoles et forestiers l'une des principales caractéristiques est la grande diversité des situations et des conditions de développement, sont les suivants :

- a) Réduire progressivement la production dans les secteurs excédentaires et modérer les charges qui

en découlent pour le contribuable (céréales, sucre, amidon, produits laitiers, viande rouge, vin).

- b) Leur substituer progressivement les secteurs déficitaires (alimentation animale, protéines de soja, graines oléagineuses, pétrole, produits forestiers).
- c) Résoudre les problèmes de terrains arides et semi-arides (plus de 400.000 kilomètres carrés en Europe) et les problèmes d'irrigation qui sont plus gênants dans les pays du Sud du Bassin Méditerranéen.
- d) Contribuer au développement des industries de transformation des produits agricoles et faire participer le secteur rural aux grandes mutations technologiques de notre temps. Nous ne pouvons ignorer la nécessité d'une nouvelle alliance plus étroite entre l'agriculture, l'industrie et la science. Les équipements actuels, pour certaines récoltes et certains modes d'exploitation agricoles, sont déjà dépassés.

Il nous faut des agriculteurs plus éduqués, moins empiriques, prêts à exploiter les résultats de la technologie, ainsi que des ingénieurs agronomes plus spécialisés dans les méthodes contemporaines. Sans doute, à l'ère de la biologie moléculaire, les programmes universitaires concernant les sciences relatives à l'agronomie doivent s'orienter vers une intensification et comporter l'étude approfondie de la biochimie, de la chimie organique et de l'informatique. Ces tendances supposent un agrandissement des exploitations agricoles. Les petites exploitations n'auront pas le volant économique pour soutenir une telle structure scientifique. Il faudra alors une reconstruction de la structure des petites exploitations agricoles et une organisation de services plus modernisée.

## Les perspectives d'avenir: La Biotechnologie

### TRANSFORMATION DES PLANTES. CULTURES DE TISSUS, CELLULES, PROTOPLASTES, EMBRYOGÉNÈSE SOMATIQUE. GÉNIE GÉNÉTIQUE

Avant d'entrer dans les perspectives d'avenir, il serait prudent de faire la synthèse des tentatives et des réussites de la biotechnologie durant la décennie 1980-1990.

Au cours de la décennie précédente, la production de plantes par les méthodes de cultures de tissus, cals, protoplastes et la création de nouveaux clones par embryogénèse sont devenues courantes.

Les avantages peuvent être résumés ainsi :

- a) Production de plantes indemnes de virus.
- b) Accélération de la production et création de plantes sélectionnées qui sont produites par millions de copies
- c) Mécanisation dans certains cas.
- d) Création de nouveaux clones, par embryogénèse.

Cette méthode est déjà appliquée pour la production d'arbres (hespéridées, vignes, arbres fruitiers) mais aussi de plantes ornementales et de plantes utilisées pour la production de substances à haute valeur ajoutée (plantes aromatiques, pharmaceutiques, etc).

Les nouvelles techniques de génie génétique végétal, les cultures tissulaires, la recombinaison de l'ADN, combinés aux méthodes d'hybridation classiques, ont déjà amélioré les possibilités de la sélection végétale en mettant à la disposition des entreprises de multiplication des plantes modifiées, par exemple de maïs, de riz, de palmier, de pomme de terre, de carotte, de chou, de betterave et canne à sucre. On prévoit que les ventes de semences seront accrues d'environ 7 milliards de dollars en l'an 2000 et du double en 2005.

Il existe plusieurs méthodes pour introduire un fragment de molécule d'ADN dans les cellules des plantes hôtes, par exemple, en utilisant des pathogènes naturels (*plasmide Ti d'Agrobacterium tumefaciens*), des virus (mosaïque du tabac) ou des méthodes physiques comme la microinjection et le traitement direct de l'ADN. Il faut toutefois préciser que chaque méthode a ses limites.

Ainsi, quelquefois on peut remarquer l'intégration d'un petit fragment d'ADN dans le génome, mais on ne peut pas contrôler la place exacte où cette intégration a eu lieu.

Mais l'expression fonctionnelle d'un nouveau gène chez une plante soumise à une manipulation génétique n'a pas encore été signalée. Un des plus grands obstacles à la réalisation de cet objectif réside dans notre connaissance limitée des bases moléculaires de l'expression génétique. On doit identifier les gènes responsables des principales caractéristiques des plantes.

Sans doute, l'effort gigantesque concernant les recherches dans d'autres domaines comme par exemple la cartographie du génome humain et des différents microorganismes, l'organisation des banques de données, la communication rapide, a déjà commencé à porter ses fruits, directement ou indirectement.

En tout cas on ne doit pas ignorer que l'application de la recombinaison de l'ADN de microorganismes

(bactéries, champignons), d'animaux ou d'autres plantes pour le transfert aux plantes intéressantes, a rencontré des difficultés et nous devons être plus modestes et plus patients pour la commercialisation de tels hybrides.

Le temps disponible n'est pas suffisant pour rentrer dans les détails, mais on peut envisager dans l'avenir l'utilisation de ces technologies de pointe pour l'amélioration des récoltes et la manipulation génétique des plantes.

En tout cas, la transformation des plantes avance en accord avec les besoins humains, il s'agit d'une réalisation sans limite. L'agriculteur dispose maintenant de plantes et d'hybrides pour envisager une amélioration tant sur le plan de la quantité que de la qualité.

## LES PRIORITÉS RELATIVES DE L'AMÉLIORATION DES ESPÈCES VÉGÉTALES

Actuellement, le principal problème de la production n'est plus d'ordre quantitatif mais qualitatif. L'orientation vers des produits de meilleure qualité est nécessaire pour deux raisons :

- a) La demande de produits plus hygiéniques devient de plus en plus importante, les médias informant le grand public de l'importance de l'alimentation pour la santé.
- b) Le manque d'acides aminés essentiels, dans certaines régions du monde, au fur et à mesure que l'accroissement démographique devient plus important. Les agriculteurs devront alors tabler sur la quantité et la qualité des protéines, des glucides et des lipides produits par hectare, plutôt que sur un nombre de tonnes de blé par hectare ou d'hectolitres de lait par vache.

D'autre part, les industries alimentaires devront livrer des produits dont la synthèse, les méthodes de préparation, les contenus en calories, vitamines, additifs, apparaîtront clairement afin que les consommateurs soient parfaitement informés et aient la possibilité de juger et d'évaluer leur qualité hygiénique. La tendance vers une concentration de la production agroalimentaire mais aussi de la distribution, de la vente et de "catering", conduit à l'agrandissement des exploitations.

La mise au point de variétés de colza fournissant une huile exempte d'acide érucique, toxique et promoteur de thromboses, n'a pas seulement permis d'utiliser cette huile à des fins alimentaires, mais aussi de rendre possible sa substitution dans les formulations antibiotiques aux huiles de soja importées. D'autres améliorations génétiques ont permis de débarasser la farine de colza résultant de la production de l'huile de ses glucosinolates toxiques, la rendant ainsi propre à

l'incorporation dans les aliments pour animaux, aliments généralement importés. Des techniques similaires ont permis l'augmentation de la valeur potentielle du lupin, non seulement en tant que graine oléagineuse à haute teneur en protéines, mais aussi en tant que source d'alcaloïdes biologiquement actifs.

Mais l'hybridation bénéficiera d'autres possibilités offertes par la biotechnologie, comme par exemple, le marquage de gènes, l'abolition de gènes gênants, l'utilisation du marquage pour l'identification d'une variété spécifique et la prévention des erreurs, l'utilisation du marquage pour l'identification d'une lignée parentale dans une variété d'hybrides F1, avec garantie de pureté, l'utilisation d'enzymes de restriction pour l'identification des lignées qui contiennent des caractéristiques favorables, l'utilisation de chromosomes, de protoplastes, de cellules, de cals sélectionnés.

Il est certain que la biotechnologie ne remplacera pas le "breeding" classique, mais en tout cas participera d'une façon décisive à l'augmentation de l'exactitude, la réduction du nombre de plantes à traiter, l'évaluation rapide du développement des plantes, ainsi qu'à l'amélioration de l'efficacité et du coût, tout en accélérant la multiplication.

Il y a alors l'espoir de jouir prochainement des améliorations suivantes :

- a) Production d'hybrides de blé et de soja à haute teneur en lysine, méthionine et autres acides aminés indispensables, ainsi que de graines oléagineuses contenant des glycérides d'acides caproïque, laurique et myristique, matières premières des industries des détergents, cosmétiques et plastifiants (la Communauté Européenne importe plus de 4 milliards de tonnes d'huiles et graisses végétales par an).
- b) Production de graines oléagineuses pour l'obtention d'huiles alimentaires contenant moins de glycérides d'acides gras saturés (surtout d'acide palmitique qui a une action hypercholestérolémique) et plus de glycérides d'acides gras de type oméga-trois provenant, jusqu'à présent, de produits marins (poissons, algues unicellulaires, etc).
- c) Production de variétés de végétaux, de fruits et primeurs plus savoureux, avec plus d'arôme, mais aussi de variétés absolument nouvelles présentant un autre goût et une autre texture, de végétaux mieux conservables et dont la maturation ne provoque pas d'altération remarquable de leurs qualités organoleptiques ainsi que de variétés résistantes à la salinité.
- d) Production de plantes résistantes aux maladies, aux parasites, aux herbicides et au froid, en attendant une application plus large des

technologies de l'information en agriculture, dans toutes les régions, allant de la surveillance de chaque parcelle, à la télédétection de régions entières par avion ou par satellite et à une protection biologique des plantations.

- e) Production de plantes pour l'industrie des aliments pour animaux (les importations de la Communauté pour ces produits s'élèvent à environ 20.000.000 t. par an).
- f) Dans le secteur sylvicole, il est possible de réduire considérablement les importations de bois et de produits du bois qui atteignent environ 50% de l'utilisation et dont le coût dépasse largement les 10 milliards d'ECU (importation de plus de 120 millions de tonnes par an) en les remplaçant par des produits locaux.

La consommation de papier augmente dans le monde entier d'une façon spectaculaire (dans les pays industrialisés, on est passé de 25 kg au début du siècle, à 350 kg aujourd'hui, par an et par habitant). La femme de ménage a découvert les avantages et la facilité de l'usage du papier (usage personnel, journaux, livres, etc...). De même, on peut observer une augmentation de la consommation des produits celluloseux comme matières premières de l'industrie chimique (vernis, cellophane, rayonne, additifs alimentaires, etc). D'autre part, les régions forestières diminuent à cause d'une exploitation sans limite, d'un renouvellement insuffisant et des incendies. Nous devons donner une priorité à ces problèmes. La production des systèmes agro-sylvicoles de montagne et une réorientation des plantations surtout concernant des produits excédentaires peuvent résoudre certaines difficultés. La Communauté tend à importer de plus en plus des produits transformés, plus élaborés, à plus haute valeur ajoutée et dont, compte tenu d'une diminution globale des ressources, au niveau mondial, les offres ne peuvent couvrir la demande.

Sans doute les recherches visant à fabriquer de nouveaux produits et la découverte de nouvelles possibilités d'exploitation des déchets ligno-celluloseux provenant de la transformation du bois en papier (50% du poids de bois initial), doivent être intensifiées. Dans la même catégorie, on peut classer les surplus en hydrates de carbone (sucre, amidon, etc...) et leur transformation en produits provenant aujourd'hui de la pétrochimie.

#### LA SITUATION ACTUELLE DE LA RECHERCHE DANS LE SECTEUR DES SEMENCES DANS LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE

Vous trouverez un tableau récapitulatif des différents axes de recherche concernant le secteur des semences dans "European laboratory without walls,

Seeds of tomorrow through genetic engineering, DG XII Biology Directorate, Biotechnology Division".

#### Culture de cellules végétales en bioréacteur. Production de composés de la chimie fine

Un autre axe était orienté vers la culture de cellules en réacteurs, pour la production à l'échelle industrielle, de produits à haute valeur ajoutée : produits de la chimie fine et spécialités (arômes, huiles essentielles, produits pharmaceutiques, produits agrochimiques, etc...).

Il est bien connu que les huiles essentielles et les arômes de fruits sont composés de mélanges de plus de 200 constituants. Leur reproduction synthétique est donc rendue peu économique. De plus, des transformations organiques stéréospécifiques rendent difficile leur réalisation en laboratoire. Dans ce cas, des cellules végétales en suspension ou immobilisées peuvent être utiles pour ces synthèses.

La culture de cellules à échelle industrielle présente certaines difficultés concernant le transfert de la technique de l'échelle du laboratoire à l'échelle des fermenteurs industriels, parce que les cellules végétales se détruisent facilement au cours de l'agitation et la multiplication commence à ralentir. Inversement, il y a quelques exemples où la production industrielle est améliorée vis-à-vis du laboratoire. Quelques exemples sont ceux de la shikonine, de digoxine, d'acide rosmarinique, de la nicotine.

#### Biotechnologie des cellules animales

Concernant le secteur vétérinaire, des progrès remarquables concernent :

- a) le développement des méthodes diagnostiques et thérapeutiques à l'aide d'anticorps monoclonaux et l'amélioration de l'équipement vétérinaire avec des nouveaux médicaments et méthodes thérapeutiques.
- b) la production de clones avantageux (générations d'animaux produisant moins de graisse, plus de lait, plus de viande par unité alimentaire).

On peut donc envisager que les prévisions en général sont très positives pour l'avenir.

## La phytoprotection biologique

Le problème de la phytoprotection reste toujours important autant pour l'agriculteur que pour les consommateurs. Sans doute les insecticides, les fongicides, les herbicides, les pesticides jouent toujours un rôle très important dans la production des produits agricoles. Mais en même temps, leur utilisation quelquefois exagérée ainsi que le non-respect des instructions d'usage, par certains agriculteurs, ont créé des problèmes au niveau de l'environnement et de la santé publique. Plusieurs fois on a pu détecter des traces de matières actives de pesticides dans des produits destinés à la consommation.

La recherche pour substituer les produits chimiques par des produits de phytoprotection biologique, progresse dans plusieurs directions, par exemple les phéromones d'attraction ou de répulsion et les hyperparasites, c'est-à-dire des insectes, "pests", bactéries ou champignons qui survivent en détruisant leurs analogues nuisibles.

Dans le secteur des phéromones, il y a déjà des applications très extensives comme par exemple la protection des oliviers, du coton, etc.

En Grèce, la culture de l'olivier est très extensive. Les pertes annuelles à cause du dacus (une mouche qui dépose ses oeufs dans l'olive) sont très importantes. Le Ministère de l'Agriculture est obligé de traiter de grandes superficies par avion ou hélicoptère avec des insecticides. Mais cette méthode a des conséquences très graves pour les écosystèmes. Avec le dacus, toute forme de vie est détruite.

Depuis environ sept ans, le Ministère en collaboration avec nous-mêmes a commencé un effort de phytoprotection biologique à l'aide de la phéromone du dacus. En 1989, 1.000.000 de pièges à phéromone ont été répartis dans diverses régions de Grèce. Les résultats sont intéressants. Dans certaines de ces régions, l'utilisation d'insecticides a été évitée. Dans d'autres, elle a considérablement diminué, puisque le nombre de pulvérisations est passé de 11 à 1 ou 2. Pour cette année une expansion des régions traitées par phéromone est prévue.

Dans le secteur des prédateurs et parasites, les applications ont jusqu'à présent, été limitées aux cultures en serres et aux cultures protégées en général. Pour les cultures normales, on peut mentionner deux exemples : la lutte contre les nématodes à l'aide d'autres microorganismes et la production biotechnologique de bactéries qui ont la possibilité de biodégrader des polluants.

Une meilleure compréhension de l'activité des hormones juvéniles participant à la transformation des pupae en mouches adultes, nous aidera pour la

production, par les méthodes de génie génétique, d'insecticides viraux qui interrompent le développement des insectes. Mais d'autres méthodes génétiques ont conduit à l'induction de la stérilité, par incompatibilité cytoplasmique ou incorporation de gènes de stérilité.

Une expansion de ces méthodes est souhaitable parce qu'elles sont plus écologiques.

Il faut également mentionner les efforts pour la protection des plantations contre le gel hivernal dans la zone méditerranéenne. Il s'agit d'un problème grave pour les hespéridés qui gèlent souvent et dont la régénération exige plusieurs années. Une meilleure compréhension du phénomène a déjà offert la possibilité de prendre certaines mesures jusqu'à une température de -2°C.

## Questions relatives aux engrais et aux nouvelles méthodes de culture

### LES BACTÉRIES SYMBIOTIQUES

La Communauté Européenne a soutenu un programme de recherche sur le développement de l'utilisation de bactéries symbiotiques dans les cultures céréalières. Cette recherche est le fruit d'une collaboration entre plusieurs laboratoires universitaires et instituts européens.

D'après ce que je sais, les résultats, jusqu'à présent, ne sont pas spectaculaires. Mais le problème de la pollution des sols et des eaux par les engrais chimiques ajouté aux charges économiques, est si important qu'il est nécessaire que les recherches soient poursuivies.

Les moyens de la recherche, au fur et à mesure que nous nous rapprochons de la fin du siècle, deviendront plus efficaces, ce qui augmente nos espoirs de résoudre les problèmes (beaucoup plus critiques pour les économies des pays en voie de développement).

### LA PHYSIOLOGIE DE LA NUTRITION DES VÉGÉTAUX

Pour le moment, l'utilisation des engrais chimiques reste impérative. Mais ces engrais, parallèlement aux avantages très importants qu'ils ont apporté aux exploitations agricoles, présentent notamment deux désavantages :

- a) Leur production nécessite une très grande quantité d'énergie. Pour la production de l'ammoniaque par exemple, base des engrais les plus importants, le pétrole participe à 40% et l'énergie électrique à

37%, ce qui fait un total de plus de 87% du coût de la production. Si on considère que la production électrique dépend partiellement du pétrole, le pourcentage devient encore plus grand et il faut noter que le pétrole surcharge le budget de la majorité des pays méditerranéens.

- b) La consommation des engrais est montée récemment à 208 kg par hectare, (ce qui rejoint le maximum historique atteint il y a neuf ans). Ce gaspillage, en plus des conséquences économiques, a créé, dans certains territoires, des problèmes de pollution et eutrophisation des rivières et des lacs.

Si on considère également qu'une grande proportion des engrais (souvent plus de 80%) n'est pas exploitée par les plantes, il est certain qu'il faudrait utiliser des formules de fertilisation plus "pointues", plus adaptées à chaque sol, à chaque culture, mais cela va évidemment à l'encontre de la logique de production des fabricants qui ont intérêt à produire des formules plus spécialisées.

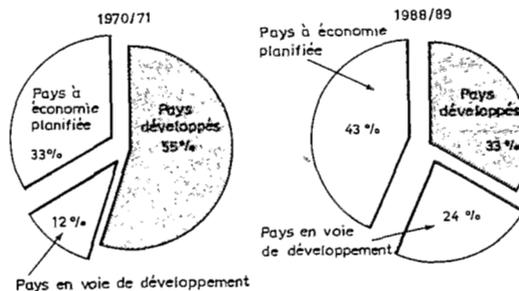
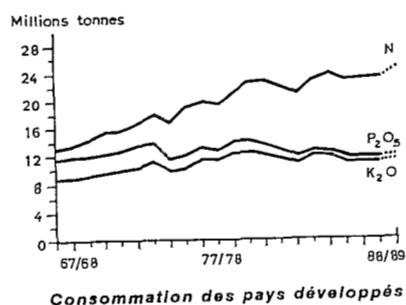
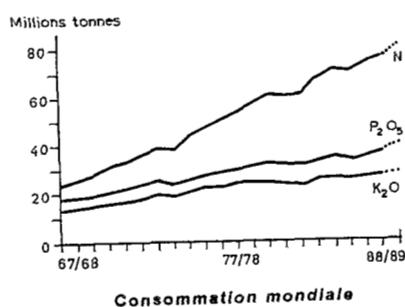
Sans doute une meilleure compréhension de la physiologie des plantes permettra dans l'avenir, une exploitation plus efficace. Par exemple, dans certaines formules, on emploie 8-10 oligoéléments. On peut se demander pourquoi 8 et pas 16 ou 32 puisque le tableau périodique en contient environ 100 et que la vie a débuté dans la mer qui les renferme tous. De même, dans certaines régions de la planète où on a encore une végétation vierge, on a abouti à un profil analytique de la terre identique à celui de l'océan. N'oublions pas que

la cellule végétale peut être comparée à une usine fantastique. Elle emploie des centaines d'enzymes, qu'elle fabrique elle-même et qui sont indispensables pour la synthèse de molécules très compliquées : protéines, glucides, lipides et métabolites secondaires qui donnent la couleur, l'arôme et les substances pharmaceutiques précieuses. Peut-être que les oligoéléments jouent un rôle actif ou synergique dans les centres actifs des enzymes. Dans les années à venir, le décodage de la stéréostructure des molécules protéiques nous aidera à comprendre ces admirables mécanismes de la biochimie végétale.

La totalité de ces fabuleuses synthèses faites par les plantes sont effectuées sans pression ni haute température, sans pollution - l'inverse est vrai - et surtout avec simplicité. Il est certain que les formules empiriques des engrais doivent être remplacées par un apport nutritionnel plus proche des besoins biochimiques de la cellule. Cette nutrition sera peut-être plus coûteuse mais qui, appliquée en combinaison avec de nouvelles méthodes de plantation, d'irrigation et de phytoprotection, donnera des résultats rentables.

Pour certaines cultures à haute valeur ajoutée et pour les primeurs, plusieurs aspects peuvent être pris en considération comme l'optimisation de l'espace de la serre, l'économie de main-d'oeuvre et la recirculation extensive des substances nutritives jusqu'à leur épuisement.

Nous avons appliqué cette philosophie à la culture des fraises et des salades. Sur une superficie de 2.000 mètres carrés (au lieu de 5-6.000 en culture classique)



69.000 fraisiers, d'un clone spécial, ont donné 14 tonnes de fraises, dont la fréquence d'apparition et la saveur étaient remarquables. L'optimisation de ce système a nécessité une collaboration d'ingénieurs de diverses compétences : chimistes, agronomes, civils, électroniciens, ainsi que des biologistes, biochimistes et des mathématiciens. Ce travail a commencé il y a 10 ans et nous espérons toujours des améliorations du modèle.

Dans l'agriculture de l'an 2.000, la participation de la science sera beaucoup plus intense qu'aujourd'hui. Sans doute, les "blouses blanches" accompagneront les agriculteurs de l'avenir.

Les pays méditerranéens doivent profiter des progrès de la science et des innovations en modifiant leurs activités vers de nouvelles cultures, complémentaires de celles de l'Europe du Nord. Ce marché, déjà très développé, deviendra encore plus important après la libéralisation des économies des pays de l'Est. Une réorientation sera sans doute nécessaire.

Nous avons déjà examiné en bref les perspectives du secteur agricole. Nous allons maintenant voir celles d'un autre secteur qui lui est très étroitement lié : le secteur alimentaire.

## Le secteur alimentaire

### Les données économiques

Selon le rapport FAST de la Commission Européenne (vol. 5, "The future of the European food system", Febr., 1988) le secteur alimentaire se présente comme suit :

- 320 millions de consommateurs dépensent 1 ECU sur 4 (25%) pour l'alimentation.
- 20% de la dynamique de main-d'oeuvre (24 millions d'employés dont 10 m d'agriculteurs, 4 m d'employés à la production des aliments et 10 m aux circuits intermédiaires et à la distribution.
- La participation à 10% du GDP ce qui représente environ 10% des importations et 8% des exportations.

La demande de produits alimentaires en Europe au cours des 20 prochaines années devrait rester stable ou presque car :

On prévoit ainsi une augmentation de 0,5% par an parce que l'augmentation de la population est minimale (4,2% d'ici à l'an 2000 par rapport à 11% aux Etats-Unis, 16,4% en Union Soviétique, 8,1% au Japon et 32,3% pour la population globale de la planète) et que le nombre des personnes âgées dont les besoins en

nourriture sont faibles, surtout pour les produits d'origine animale, sera multiplié. Les études démographiques prévoient que la population des personnes âgées de plus que 65 ans aura augmenté de plus de 45% d'ici à l'an 2026.

Une autre cause de cette stabilité est due aux activités musculaires qui deviennent minimales à cause de la robotique et de l'automatisation tant au niveau de la production que de celui des ménages. Pour les pays méditerranéens du Sud, on prévoit inversement une augmentation de la population ainsi qu'une amélioration de la qualité de la nutrition.

En examinant ces perspectives du secteur alimentaire, on doit considérer:

- Les tendances vers une alimentation plus hygiénique et la sensibilité écologique du public.
- L'impact des progrès de la biotechnologie et des autres mégatechnologies (électronique, informatique, robotique, communications) sur la production.
- Le mélange des populations et le tourisme, qui conduiront à des changements dans les habitudes alimentaires et à un équilibre diététique entre les peuples méditerranéens.

### L'aspect nutritionnel. Vers une alimentation plus hygiénique et plus savoureuse

Les fléaux de notre époque dans les pays industrialisés sont les maladies cardiovasculaires, l'obésité, le cancer, ainsi que les maladies nerveuses et mentales.

L'inverse est vrai pour les pays en voie de développement, qui représentent environ les deux tiers de la population totale de la planète et où, dans certaines régions à pénurie, le manque en acides aminés indispensables est considérable.

L'humanité doit s'occuper maintenant d'un double problème : abondance vers le Nord et pauvreté dans certaines régions du Sud.

Les maladies cardiovasculaires constituent la principale cause de mortalité dans les pays industrialisés. Environ 1.500.000 américains sont atteints chaque année et un tiers d'entre eux (500.000) meurent avant qu'une aide médicale ne leur soit offerte. En Allemagne, le nombre des personnes atteintes est monté à 360.000. Il s'agit, entre d'autres causes, de maladies de l'abondance et d'une alimentation déséquilibrée.

En examinant les statistiques et les résultats des recherches très extensives concernant ces maladies,

depuis 1950, on peut considérer, malgré quelques conflits, quelques suggestions concrètes, comme par exemple:

- a) Stabilisation du poids idéal du corps, grâce à la possibilité de se peser souvent dans les mêmes conditions. D'anciens hiéroglyphes d'une pyramide égyptienne disaient : "Nous consommons quatre fois plus de ce qu'il est nécessaire pour survivre". Cette phrase est toujours d'actualité. Il ne faut pas oublier que l'obésité est une maladie.

Il faut noter que l'addition par exemple, dans la ration quotidienne, d'une bière (200 calories) aboutit 45 jours plus tard à la prise d'un kilogramme de poids corporel supplémentaire. Il faudrait alors courir 93 kilomètres (deux fois la distance d'un marathon) pour qu'il y ait consommation de cette surcharge.

- b) Consommation journalière d'une grande variété de fruits et légumes, sources de vitamines et d'oligoéléments, indispensables pour le fonctionnement des systèmes biochimiques, très compliqués, de l'homme.

De plus en plus, nous découvrons l'importance biologique des oligoéléments que l'organisme humain n'a aucune possibilité de synthétiser. L'exemple du sélénium, un élément rare qui fut accusé de toxicité, maintenant considéré comme indispensable pour le fonctionnement du tocophérol, comme antioxydant naturel, pendant l'auto-oxydation linoléique sur les membranes cellulaires et dont le rôle est très important vis-à-vis des maladies cardiovasculaires et du cancer.

- c) Consommation journalière de fibres du type lignocellulose, etc. Les céréales intégralement moulues, les légumes, le riz complet, les graines, les fruits, sont les meilleures sources.
- d) La consommation journalière de protéines, d'origine végétale et animale, ne devrait pas dépasser 60-70 g.
- e) Les lipides ne doivent pas représenter plus de 20-30% de la totalité des calories journalières en particulier.
- f) La consommation des lipides saturés doit être restreinte (les glycérides palmitiques sont considérés comme les plus hypercholestérolémiques). Dans ce pourcentage, les lipides saturés (suif animal, beurre, chocolat, huile de palme, coque, etc.) ne doivent pas dépasser un tiers. Un autre tiers peut provenir de l'huile d'olive, considérée comme inerte sur la cholestérolémie, le dernier tiers doit être divisé entre les huiles de graines, riches en acides polyinsaturés du type oméga-6

(responsables aussi de la biotransformation en leucotriène et thromboxane) et polyinsaturés oméga-3 provenant des poissons et autres organismes d'origine maritime. Ces glycérides agissent sur la biosynthèse de la prostacycline qui règle le taux des lipoprotéines de haute densité (HDL), agissant contre le cholestérol. On doit encore souhaiter:

- g) La restriction de la consommation des "poisons" blancs: sucre et sel, responsables de l'obésité, du diabète et des caries dentaires (environ 87% des enfants âgés de 12 à 15 ans ont déjà consulté le dentiste à cause de la surconsommation de produits sucrés).
- h) La restriction de la consommation de l'alcool qui représente parfois plus de 10% de la totalité des calories.
- i) La suppression du tabagisme, une habitude incompréhensible, si l'on se réfère aux données aujourd'hui de l'influence du tabac sur la santé.

### La complexité de la nutrition humaine, les aspects neurochimiques, l'importance de l'arôme

Au cours de la prochaine décennie, les recherches biochimiques concernant l'influence de l'alimentation sur la santé humaine seront sans doute plus systématiques, plus fructueuses, car il existe déjà l'expérience, les banques de données, les instruments analytiques, un plus grand nombre de chercheurs et des ressources plus importantes pour la recherche. Il est probable, d'ici-là, que les rôles des oligoéléments, des vitamines, des fonctions hormonales et nerveuses seront clarifiés et mieux compris. Parallèlement, les médias permettront que ces expertises deviennent la propriété du grand public, un public qui demandera chaque jour plus intensivement une meilleure qualité, une alimentation plus hygiénique, mais qui en même temps ne voudra pas sacrifier ses traditions et ses habitudes quant à la texture et à la saveur de ses repas.

Les agriculteurs et les industries de l'alimentation doivent connaître maintenant les tendances des nouveaux produits qui devront remplir deux conditions : être plus sains et plus savoureux.

Ce que nous appelons saveur, goût, se réfère surtout à notre sens d'olfaction. Le goût est un sens pauvre qui ne peut faire la différence qu'entre quatre sensations: l'amer, le sucré, le salé et l'acide. Le reste est une question d'olfaction. On n'exagère pas alors en disant que nous mangeons avec le nez. Malgré cela, nous ne sommes capables d'analyser avec exactitude l'arôme de produits naturels que depuis quelques mois. Une nouvelle méthode d'isolement nous permet déjà

d'approcher d'une reproduction très fidèle de ce que nous nous sentons. Toutes les méthodes existantes, jusqu'alors donnaient des "artefacts" ou une partie seulement du profil aromatique.

Je voudrais aussi vous rappeler les travaux de Schiffmann et collaborateurs à l'Université de Duke : pour nourrir des patients qui souffraient d'une obésité pathologique, ils ont aromatisé des substances, sans valeur calorique, avec des arômes de "bacon" (lard), de "pizza" ou de "chocolat". Ces aliments ont permis aux patients de perdre rapidement 10 à 36 kg. Maintenant nous sommes plus aptes à connaître les vrais constituants du profil aromatique et à mieux comprendre la biochimie des précurseurs de métabolites secondaires.

L'importance du rôle de la neurochimie dans le secteur agroalimentaire est maintenant reconnue. Il est vrai qu'il n'est pas facile de distinguer, d'un coup d'oeil, l'influence de l'une sur l'autre et la corrélation qui existe entre eux, mais il est certain que la révolution du développement des mécanismes de fonctionnement de l'encéphale, du système nerveux et des sens, malgré qu'elle n'en soit encore qu'à ses premiers pas, nous permettra dans l'avenir de voir d'une façon plus objective nos désirs d'alimentation, nos vrais besoins instinctifs et de proposer des solutions plus réalistes. La considération de toute forme de vie au niveau des molécules facilitera cet effort.

La bonne cuisinière, le chef renommé sont capables de faire des combinaisons osmophoriques en utilisant et en mélangeant des dizaines d'herbes, de graines, de feuilles, de racines, provenant de plantes aromatiques. Il est bien connu que l'odeur de chaque espèce végétale fait intervenir plus de 200 substances organiques.

On peut imaginer le résultat du mélange d'une plante méditerranéenne cuisinée avec l'ail, les oignons, les échalottes, le romarin, le thym, la marjolaine, le genièvre, le vin ou le cognac. Mais on ne peut pas imaginer ce qu'il se passera au cours de la cuisson. Pendant le chauffage les protéines, les lipides et les glucides, provenant de matières premières commencent à réagir entre eux. Il s'agit de réactions de type Amadori et Maillard, qui portent sur les groupes carbonyles, esters, amides et amines des protéines.

Cette combinaison (constituants naturels et produits Maillard) provenant d'une telle plante aboutit finalement à un chromatogramme (Head Space) qui donne l'impression qu'un masochiste a essayé d'incorporer le maximum de pics au millimètre carré. Il s'agit d'un mélange de composés provenant de toutes les classes de la chimie organique.

Alors, en plus de la qualité des matières premières, leur stockage, leur emballage ou encore la manière dont ils sont cuisinés (température et durée de cuisson, manière et priorité avec lesquelles les différents

constituants sont mélangés) sont des éléments critiques pour le développement du "goût".

Le bassin méditerranéen possède une tradition culinaire importante et une réputation mondiale pour sa cuisine et pour les condiments qu'elle utilise. Tous ces détails doivent être adaptés aux règles diététiques, sans qu'il y ait altération du goût, un travail assez délicat et difficile où il faut exploiter toutes les capacités de la science contemporaine. La biotechnologie, les innovations technologiques, les nouveaux procédés de fabrication et une meilleure compréhension, plus approfondie, des sensations chimiques (à savoir goût et olfaction) aideront à la réalisation de cet effort.

## L'intervention de la biotechnologie et des autres technologies nouvelles

Concernant le rôle de la biotechnologie, il existe trois aspects : enthousiaste, optimiste et pessimiste. Je crois que la vérité se trouve entre les extrémités.

Le rôle de la biotechnologie sera très important. Dans quelques années il deviendra plus important, du point de vue économique, que celui de l'électronique.

On attend alors :

- a) *La création de légumes* avec un meilleur aspect, texture, saveur, contenu en vitamines et oligoéléments, plus aisément transportables et conservables. Des graines oléagineuses contenant des acides gras de composition souhaitable et des céréales avec plus de protéines, contenant les acides aminés indispensables et des produits d'origine animale avec moins de graisses saturées.
- b) Nos efforts doivent aussi porter sur l'amélioration des méthodes de "fish farming" et des méthodes de pêche. De jour en jour, la demande des produits marins augmentera, au fur et à mesure que le public connaîtra la meilleure qualité diététique des produits de la mer par rapport à la viande par exemple.

*Le rôle de la biotechnologie* pour les régions en voie de développement sera encore plus important. Là où on doit faire face à des terrains arides, au manque d'eau, à la salinité, des hybrides résistants à ces conditions peuvent offrir des solutions et les méthodes biotechnologiques offrent déjà cette possibilité.

- c) *L'exploitation plus efficace* des déchets et des sous-produits de la production agricole : par exemple le foin, le son, les écorces, peuvent être transformés grâce à des nouvelles méthodes, non

seulement en produits chimiques, mais aussi en produits alimentaires diététiques.

- d) *La substitution de la pétrochimie* par la chimie du soleil et les ressources renouvelables.
- e) Grâce à la somatotropine et à l'application de nouvelles méthodes de clonage et d'élevage extensif, on a déjà pu augmenter la production de protéines animales.
- f) L'introduction de nouveaux produits de fermentation et de réactions enzymatiques, d'édulcorants naturels avec moins de calories, tolérés par les diabétiques et qui ne provoquent pas de caries dentaires, de graisses moins métabolisables, c'est-à-dire moins caloriques et moins cholestérolémiques.

Parallèlement le génie chimique a également son rôle à jouer au milieu de cette euphorie technologique :

- a) Nouveaux procédés pour la fabrication des aliments, méthodes qui ne provoquent pas de perte d'arôme, de couleur et de substances sensibles.

- b) Récupération des substances perdues pendant la fabrication.

- c) Planification de fermenteurs plus efficaces.

- d) Méthodes d'extraction qui ne laissent pas de traces de solvant dans les produits finis, comme par exemple le perfectionnement des méthodes d'extraction par les gaz critiques et supercritiques.

- e) Utilisation de nouveaux matériaux d'emballage.

Tout cela constitue un réel défi pour les jeunes ingénieurs.

## Conclusion

Jamais, peut-être, comme aujourd'hui, la recherche n'a autant offert de perspectives nouvelles dans toutes les directions : amélioration des races animales et végétales, des modes de production, de conditionnement et de transformation, réorientation et répartition spéciale de la production et de commercialisation des produits. En un mot tout ce qui est valable pour l'amélioration de la qualité de la vie humaine.