

# Le contexte actuel des plantes transgéniques

J. Schwendiman<sup>1</sup>

## Introduction

La vocation de l'agriculture est de nourrir l'humanité ainsi que les animaux d'élevage. Mais il existe actuellement, en termes de population et de taux de croissance démographique, de fortes disparités entre les pays développés et les pays en développement.

La population actuelle avoisine, sinon dépasse les 6 milliards d'individus et compte tenu du taux de croissance, elle devrait atteindre environ 9 milliards à l'horizon 2020 pour ensuite peut-être se stabiliser aux alentours de 10-12 milliards en 2050. Il est évident que l'essentiel de cette croissance aura lieu dans les pays en développement. Actuellement 80 % de la population, soit environ 4,6 milliards d'individus, vivent dans des pays en voie de développement où le taux annuel de croissance est de 1,9 %. Force est de constater que 800 millions de personnes sont chroniquement sous-alimentées, tandis que 1,3 milliard survit avec moins de 1 dollar US comme revenu journalier. L'évolution de la production agricole globale, observée depuis une quarantaine d'années, montre une diminution constante du taux de progression annuel. Au cours de la deuxième partie du XX<sup>e</sup> siècle l'évolution de la production agricole globale est passée progressivement de 3 % dans les années 60 à 2 % dans les années 70-80 pour arriver à 1 % dans les années 90.

---

<sup>1</sup> Cirad, département Amis, avenue Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5, France.

Les causes de ce phénomène sont multiples : érosion éolienne, érosion hydraulique, salinité des sols, surpâturage, surexploitation des sols, urbanisation. Toutes convergent vers une stabilisation de la production alors que la population à nourrir est en augmentation constante. Ce qui implique de doubler, voire tripler la production agricole pour une satisfaction complète des besoins alimentaires de l'humanité à moyen-long terme, tout en se préoccupant de l'important problème des pertes post-récolte. Les conséquences de cette situation peuvent être résumées ainsi : au début des années 1960, 0,44 ha de terre cultivable permettait de nourrir une personne ; en 1997, c'est sur seulement 0,26 ha ; à l'horizon 2050, 0,15 ha devront suffire. Devant toutes ces contraintes, l'agriculture de demain (concept dit de la révolution doublement verte) se devra d'être à la fois plus productive, durable, conservant les ressources naturelles et respectueuse de l'environnement.

Les biotechnologies, et notamment les plantes transgéniques, sont partie intégrante de ce concept mais, auparavant, nous voudrions aborder très succinctement l'une des contraintes majeures, l'eau. Déjà, son utilisation journalière révèle des disparités considérables, depuis 660 litres/jour aux États-Unis contre seulement 20 litres en Haïti. L'humanité, pour l'ensemble de ses besoins, prélève 3 240 milliards de m<sup>3</sup> d'eau douce annuellement, dont 69 % servent aux besoins de l'agriculture. De fait, les surfaces irriguées ont quintuplé depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, avec le constat que les pays pauvres et secs atteignent un rendement agricole trois fois moindre que celui des pays développés tout en utilisant deux fois plus d'eau pour l'irrigation (du fait notamment des pertes dues aux fissures dans les canaux et les rigoles). L'accès à l'eau et sa gestion seront des données fondamentales du siècle à venir, elles sont déjà sources de conflits dans certaines régions défavorisées (en termes de pluviométrie) du globe.

Les plantes cultivées demain seront-elles transgéniques ? Le domaine attire évidemment de multiples convoitises, car on estime le chiffre d'affaires annuel du secteur semences et plants à 50 milliards de dollars US, dont 20 milliards représentent déjà la commercialisation et 30 milliards le potentiel des semences utilisées par les fermiers pour la génération suivante.

La France est bien positionnée, avec un C.A. de 11 milliards de dollars (dont 2,7 réalisés à l'exportation), elle tient le premier rang

européen et le deuxième mondial derrière les USA, et ce secteur concerne 48 000 entreprises. Il n'est donc pas surprenant que de nombreux pays, entreprises, laboratoires se soient investis dans le domaine des plantes transgéniques, au vu de ce contexte.

## ■ La situation des essais en champ de plantes transgéniques

Ce bilan, comme le suivant qui concernera la commercialisation, s'appuie sur les synthèses que fait régulièrement l'Isaaa (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications)<sup>1</sup>. Entre 1986 et 1997, 45 pays avaient déjà conduit en champ près de 25 000 essais, soit 15 000 entre 1986 et 1995, et près de 10 000 sur les seules années 1996 et 1997. La situation est toutefois très inégale, avec 72 % pour les États-Unis et le Canada, environ 22 % en Europe et Russie, 3 % en Amérique latine, 2 % pour l'Asie, l'Afrique étant marginale. Plus d'une soixantaine d'espèces différentes ont été concernées, évidemment de manière très inégale en fonction de leur intérêt agronomique. En faisant référence à la situation qui prévalait aux États-Unis, il s'agissait : du maïs pour 44 % des essais ; de la tomate, la pomme de terre et le soja pour 11-12 % chacun ; du colza, betterave à sucre, tabac, cucurbitacées diverses pour quelques pour cent chacune.

Les caractères agronomiques introduits concernent la tolérance à divers herbicides (30 % des essais), la résistance aux insectes (24 %), aux virus (10 %) ou aux champignons (4 %), la qualité du produit (21 %) ou encore des propriétés agronomiques (4 %). Par rapport à cette relative diversité des facteurs introduits dans les plantes transgéniques en expérimentation, on constatera ci-dessous qu'elle n'est pas le reflet direct des produits ultérieurement commercialisés.

<sup>1</sup> Consulter : C. James, 1999. Global status of transgenic crops in 1999. Isaaa briefs. n° 5 Isaaa : Ithaca, New York, 31 p.

## Commercialisation des plantes transgéniques

La commercialisation des plantes transgéniques a réellement débuté en 1996, passant d'environ 1,7 millions d'ha cultivés à près de 40 millions au cours de l'année 1999. Ce sont essentiellement les États-Unis et le Canada qui sont concernés, mais on remarque particulièrement l'émergence de l'Argentine. L'Europe, suite aux nombreux débats toujours en cours, ne cultive pas encore de plantes transgéniques à grande échelle. La situation pour l'année 2000 n'est pas connue, il est possible que l'on assiste à la fin de cette phase exponentielle, les fermiers américains ne trouvant plus d'intérêt à ce type de culture si elle leur ferme la porte des marchés à l'exportation, notamment vers l'Europe.

Pays	1996	1997	1998	1999
USA	1,5	8,1	20,5	28,7
Argentine	0,1	1,4	4,3	6,7
Canada	0,1	1,3	2,8	4,0
Chine	?	?	< 0,1	0,3
Australie	-	-	0,1	0,1
Afrique du Sud	-	-	< 0,1	0,1
<b>Total</b>	<b>1,7</b>	<b>11,0</b>	<b>27,8</b>	<b>39,9</b>

■ **Tableau 1**  
Surfaces cultivées par pays  
en plantes transgéniques (millions ha).  
Source : C. James, Isaaa, 1999.

Il y a deux ans, le recensement faisait état de 48 produits commercialisés, représentant 12 espèces différentes et appartenant à 21 compagnies privées. Les deux seuls produits issus d'établissements publics étaient un lin résistant à un herbicide, la sulfonilurée, obtenu par l'université de Saskatchewan au Canada et une papaye résistante au ring spot virus créée à l'université d'Hawaï.

Les espèces transgéniques cultivées au cours des deux dernières années sont présentées sur le tableau 3, et on constate, pour certains pays, la part importante qu'elles ont prises sur les surfaces cultivées.

	1998	%	1999	%	Progression (%)	% surfaces cultivées
Soja	14,5	52	21,6	54	48	50 % USA 90 % Argentine
Maïs	8,3	30	11,1	28	34	33 % USA
Coton	2,5	9	3,7	9	48	55 % USA
Colza	2,4	9	3,4	9	42	62 % Canada
Pomme de terre, courges, courgettes, melons, papaye	< 0,1	< 1	< 0,1	< 1	-	-
<b>Total</b>	<b>27,8</b>		<b>39,9</b>		<b>43</b>	

■ Tableau 2

Surfaces cultivées en plantes transgéniques (millions ha).

Source : C. James, Isaaa, 1999

	1998	%	1999	%
Tolérance aux herbicides	19,8	71	28,1	71
Résistance aux insectes (Bt)	7,7	28	8,9	22
Résistance insectes/herbicides	0,3	1	2,9	7
Résistances virus/autres	< 0,1	< 1	< 0,1	< 1
<b>Total</b>	<b>27,8</b>		<b>39,9</b>	

■ Tableau 3

Caractères introduits dans les plantes transgéniques cultivées (millions ha). Source : C. James, ISAA, 1999.

Quant aux caractères introduits, le panel est essentiellement réduit à la tolérance aux herbicides et/ou la résistance aux insectes (presque exclusivement à partir des gènes codant pour des toxines à propriétés insecticides provenant d'une bactérie du sol, *Bacillus thuringiensis*).

En termes de commercialisation, il existe également un très gros écart entre les pays développés et ceux en développement. En incluant l'Argentine, qui intervient pour 6,7 millions d'ha de soja sous la rubrique d'un PED, ils contribuent pour 18 % de la production. Cette valeur ne serait que de 1 % si on excluait ce pays. Au total, les surfaces cultivées sont passées de 27,8 millions d'ha en 1998 à près de 40 millions d'ha en 1999.

## ■ Les grands acteurs des plantes de demain

Les grands acteurs, notamment pour les plantes transgéniques, sont indéniablement les entreprises d'agrochimie. Elles se partagent actuellement le marché des produits phytosanitaires (30 milliards de dollars par an), tandis qu'un dirigeant de l'une de ces multinationales estime que la maîtrise du génome végétal ouvrirait un marché d'environ 500 milliards de dollars.

Leur stratégie est claire et consiste à procéder au rachat de sociétés de recherche en biotechnologies, d'une part, afin d'identifier, cloner, séquencer et transférer des gènes brevetés et, d'autre part, de sociétés semencières, afin de disposer, comme support de la transformation génétique, des meilleures variétés et d'un vecteur commercial des futures plantes transformées.

On a vu en effet, grâce à l'exemple de la tomate dite « Flavr-Savr » de la société Calgene, « qu'il n'y a pas de bon gène sur une mauvaise variété ». Cette tomate a finalement été délaissée par le marché américain en raison non pas des qualités apportées par le gène de retard à la maturité, mais tout simplement du fait de qualités gustatives médiocres inhérentes à la variété elle-même, avant le processus de transformation génétique.

Par le biais d'acquisitions, de fusions et d'alliances, on constate ainsi l'émergence de quelques grands groupes agro-chimiques mondiaux montrant cette évolution entre fin 1995 et fin 1999. Au cours du printemps 2000, Pharmacia-Upjohn et Monsanto ont constitué le groupe Pharmacia, tandis que Dupont et Pioneer s'alliaient entre eux.

## ■ Les plantes transgéniques de seconde génération

### *La résistance aux pathogènes*

Malgré des essais en champ multiples, des plantes résistantes ou tolérantes à divers pathogènes (virus, champignons, bactéries,

nématodes) n'ont pas encore franchi le stade de la commercialisation. Ce sont pourtant celles-ci qui sont désormais attendues, quel que soit le contexte qui entoure actuellement la diffusion des plantes transgéniques.

### *La transformation des produits*

Jusqu'à présent, sur l'ensemble des plantes transgéniques cultivées, le consommateur n'a pas perçu un quelconque avantage pouvant modifier sa propre perception quant à l'intérêt de cette nouvelle technologie. Mais, les laboratoires ont en préparation des plantes susceptibles d'offrir des produits avec des qualités nouvelles et originales, comme par exemple :

- des chips enrichis en amidons, améliorant ainsi le procédé de friture ;
- de l'huile de colza « équivalente » à l'huile de palme, ou de l'huile de soja « équivalente » (en termes de composition en acides gras) à l'huile d'olive. On peut ainsi noter que des productions oléagineuses de pays tempérés pourraient concurrencer à terme des productions de pays tropicaux ou méditerranéens ;
- des fruits survitaminés ;
- des betteraves plus riches en sucre ou en fructose, avec là encore la possibilité d'une concurrence (déjà en cours d'ailleurs) avec le sucre de canne.

Des exemples concrets ou potentiels, encore plus significatifs, sont apparus dans la littérature récemment. Le plus parlant est celui du riz jaune (Golden Rice) obtenu grâce à 7 années de recherche conjointe de l'École polytechnique fédérale de Zurich en Suisse et de l'université de Fribourg en Allemagne. Environ 400 millions de personnes, dont l'alimentation est basée presque exclusivement sur la consommation de riz, souffrent actuellement d'avitaminose de la vitamine A, laquelle entraîne de graves problèmes de cécité. Cette collaboration scientifique a permis « d'introduire dans le riz une batterie de gènes codant des enzymes capables d'effectuer la conversion d'un substrat contenu naturellement dans le riz, le génylgeranyl pyrophosphate, en  $\beta$ -carotène précurseur chez l'homme de la vitamine A » (Leroy, 1999). Des promoteurs spécifiques circonscrivent cette synthèse aux seuls grains de riz. Trois gènes sup-

plémentaires ont augmenté la rétention du fer par les grains, le rendant mieux assimilable par l'organisme (les insuffisances en fer touchent près de 4 milliards d'humains et sont à l'origine d'anémies). Quelques années sont encore nécessaires pour transférer ces caractéristiques à des variétés adaptées aux conditions locales.

Grâce à une thioestérase dont on a modifié la séquence, on a transformé génétiquement le colza pour lui faire produire jusqu'à 20 % d'acide stéarique par rapport aux acides gras totaux, contre seulement 2 à 3 % dans une variété non transformée. Le stéarate contenu majoritairement dans la margarine est obtenu jusqu'à présent par un processus d'hydrogénation de l'huile de palme ou de tournesol, mais outre son coût, ce procédé génère des acides gras dits « trans » soupçonnés d'être impliqués dans l'apparition de maladies coronariennes. La transgénèse pourrait ainsi offrir des avantages tant financiers que du point de vue santé (Guillaume, 1999).

Toujours sur le colza, il a été observé que des copies supplémentaires d'un gène codant l'enzyme de la dernière étape de la synthèse biochimique de l'huile, permettraient d'en augmenter la teneur dans les graines jusqu'à 75 % de leur poids contre seulement 43 % dans les variétés actuelles. Mais, cette huile pourrait aussi servir de biocarburant : la société Calgene (filiale de Monsanto) a obtenu des graines d'un colza plus riches en acides gras à chaîne courte et dépourvues de doubles liaisons, fournissant ainsi une huile à indice d'octane plus élevé proche du gazole (Murphy, 1999).

Ce ne sont là que quelques exemples des possibilités offertes par la transgénèse pour modifier la composition de produits végétaux.

### « *Plant pharming* » et *plantes vaccins*

Des plantes transgéniques peuvent permettre la production de molécules thérapeutiques ou vaccinales. Dans le premier cas, on s'affranchit ainsi du risque lié à des prélèvements de sang éventuellement contaminé. Mis en œuvre essentiellement chez le tabac, on a obtenu de la lipase gastrique pour la lutte contre la mucoviscidose, de l'albumine humaine, des facteurs sanguins VIII et IX, de la glucocérébrosidase (d'un prix courant très élevé) contre la rarissime maladie de Gaucher, etc.



Les plantes vaccins ont d'emblée connu un large succès médiatique, il est vrai que l'enjeu en vaut la peine. Mais les essais cliniques d'une banane prévenant la diarrhée due à l'entérotoxine d'*Escherichia coli* n'ont pas débuté. Par contre, la pomme de terre crue a été testée chez l'homme contre la même entérotoxine, ainsi que contre la gastro-entérite due au virus de Norwalk. Cette même plante pourrait immuniser contre le choléra et l'hépatite B. Le maïs a été transformé avec un antigène du virus de la gastro-entérite porcine, la laitue pour lutter contre l'hépatite B, etc. (Andersenn *et al.*, 1999). Il reste toutefois une incertitude sur l'immunogénicité de ces molécules recombinées qui n'a pas été évaluée, sachant que de modifications post-traductionnelles peuvent intervenir lors de la synthèse de ces protéines, modifications différentes selon que l'on s'adresse à un modèle animal ou végétal.

## Caractères agronomiques

Là encore, de nouvelles voies de recherche prometteuses sont ouvertes. Ainsi ont été identifiés :

- chez le chou fourrager, le gène supprimant l'autofécondation, dont on voit tout l'intérêt pour la production de lignées hybrides ;
- chez *Arabidopsis thaliana*, deux gènes supprimant l'ouverture de la silique. Ils pourraient, transférés chez le colza, empêcher les pertes dues à l'ouverture des cosses qui représentent 10 à 20 % de la récolte chez cette espèce ;
- chez *A. thaliana*, un gène conférant une relative insensibilité aux gibberellines a été isolé, d'où une taille réduite, attestée lors de son transfert chez le riz. Or, le nanisme (on l'a vu dans le cas des variétés créées lors de la révolution verte) va souvent de pair avec un accroissement de la production de grain chez les céréales ;
- chez *A. thaliana*, la surexpression d'un gène a permis à ces plantes transgéniques une meilleure tolérance au sel que les plantes sauvages ;
- *A. thaliana* a aussi été transformé avec deux gènes de bactéries capables de survivre dans un environnement pollué par le mercure. La plante s'est alors montrée capable d'extraire les organomercurels du sol avec une efficacité remarquable, 50 fois supérieure à celle des arabettes sauvages. Chez les bactéries, les organomercu-

riels sont convertis en mercure élémentaire, beaucoup moins toxique et volatil dans l'atmosphère. C'est donc une voie de recherche parmi toutes celles envisagées pour contribuer à la protection de l'environnement ;

– chez le riz, plante dite en  $C_3$ , dont le rendement photosynthétique est inférieur à celui d'autres plantes tropicales dites en  $C_4$  comme le maïs ou le sorgho, on a modifié la voie de fixation du  $CO_2$ . Trois enzymes sont responsables chez ces dernières de la synthèse du malate, elles existent chez le riz mais à un niveau naturel d'expression très faible. La transformation du riz par l'un ou l'autre des gènes codant ces enzymes a, selon le cas, augmenté le rendement de 10 à 35 % par une fixation accrue du  $CO_2$ .

Ces exemples, parmi tant d'autres, ont essentiellement été extraits de divers numéros récents de la revue *Biofutur*.

## ■ Biotechnologies et pays en développement

La révolution verte a permis de doubler les rendements en maïs, riz et blé, grâce à l'apport conjoint de plusieurs facteurs : des variétés améliorées, notamment par une taille réduite favorisant les parties fructifères au détriment des parties végétatives ; l'apport d'intrants, engrais et pesticides, mais générant en retour des problèmes de pollution de l'environnement ; des systèmes d'irrigation intense demandant une forte disponibilité en eau ; un aménagement des cultures.

Toutefois, avec le recul, force est de constater que cette révolution verte a été restreinte à certains pays en développement, notamment asiatiques, mais que d'autres régions tropicales, comme l'Afrique, n'en ont pas été bénéficiaires. Dans le nouveau concept de la révolution doublement verte, les biotechnologies se devront d'être intégrées sous divers aspects : par l'utilisation de variétés résistantes à divers ravageurs et pathogènes ; par l'augmentation des rendements et nous avons vu précédemment quelques exemples de piste en cours d'exploration ; par la possibilité d'effectuer des semis sur des

sols dégradés ; par l'utilisation de variétés tolérantes à la sécheresse et à la salinité des sols ; par la possibilité de pouvoir fixer l'azote atmosphérique et de réduire ainsi les apports de fertilisants.

Pour les deux premiers aspects évoqués, on peut raisonnablement espérer à court-moyen terme disposer de telles variétés. Ce n'est certainement pas le cas pour les autres possibilités, sinon à moyen-long terme car de telles plantes, certainement transgéniques, seront beaucoup plus difficiles à obtenir du fait de la complexité des mécanismes en jeu, mais aussi du fait qu'elles ne sont pas l'objet d'une intensité de recherche comparable. Le problème de l'accès des pays en développement aux biotechnologies en général et aux plantes transgéniques en particulier, est fort complexe. On lira avec profit un article de Andersen *et al.* (2000) intitulé : « Les biotechnologies au secours du Sud ? ».

Sans clore le moins du monde ce chapitre, objet d'intenses débats actuellement, nous signalerons simplement que les biotechnologies, mises en œuvre ou en projet dans les pays développés, sont déjà une source d'instabilité potentielle, car susceptibles de remplacer des productions « traditionnelles » du Sud. On l'a vu précédemment avec l'huile de colza ou la betterave à sucre, mais les biotechnologies peuvent désormais entrer en concurrence avec des pesticides d'origine végétale.

*Azadirachta indica* (neem) est une plante utilisée comme pesticide par les fermiers indiens, elle produit notamment deux principes actifs, l'azadirachtine et l'azatine. Plus d'une cinquantaine de brevets américains et européens ont été déposés sur le neem.

*Chrysanthemum cinerariaefolium* fournit les pyréthrinés, qui pourraient désormais être produites par des levures recombinées. Or, ce sont actuellement 40 000 fermiers kenyans qui assurent 60 % de la production mondiale.

## ■ Le débat sur les plantes transgéniques

Il est en cours, on en ignore l'issue, il est classiquement posé en 4 termes avec pour chacun des opposants et des partisans.

## Éthique

La transgénèse entraîne une modification durable du patrimoine génétique d'une espèce. S'il est vrai que l'on peut désormais ajouter une séquence quelconque prise parmi l'ensemble des êtres vivants, on ne dispose pas d'un mécanisme susceptible de s'en « débarrasser » ultérieurement. D'un autre côté, il faut admettre que c'est un outil puissant d'amélioration variétale dont les possibilités n'ont même actuellement été explorées que d'une manière très partielle.

## Santé

De nombreux débats sont toujours en cours sur les risques d'allergies qui pourraient se manifester lors de l'ingestion d'aliments obtenus à partir de plantes transgéniques.

Dans le même ordre d'idée, la transformation génétique demande la présence dans la construction d'un gène de sélection, résistance à un herbicide ou à un antibiotique. Sur ce dernier point, de nombreux articles ont été rédigés et l'application du principe de précaution oriente désormais les recherches vers des systèmes alternatifs de sélection des cellules végétales transformées. Par exemple, l'utilisation d'un gène d'une hormone de croissance de la plante, une cytokinine, qui doit de plus être activé par l'ajout dans le milieu de culture d'une molécule chimique, la dexaméthasone (Kundel *et al.*, 2000). Les partisans avancent l'ingestion journalière de gènes, ce que le public ne réalise pas vraiment, mais la réticence provient surtout de la présence de gènes, microbiens par exemple, au sein de plantes transformées, alors qu'elles en étaient auparavant dépourvues.

L'universalité du code génétique autorise en effet des transgressions, y compris entre règnes animal et végétal, susceptibles de heurter des sensibilités liées à des habitudes alimentaires (notamment pour des populations à majorité végétariennes, comme les Indiens). Il paraît toutefois important de signaler que la transgénèse permet désormais d'introduire une séquence parfaitement identifiée, alors que lors de l'amélioration classique à partir d'hybridations suivies d'un certain nombre de croisements de retour, le sélectionneur n'est pas à même de connaître les « séquences résiduelles » qui subsistent dans la nouvelle variété.

## Environnement

Par le biais du pollen, le transgène est susceptible de se disséminer notamment vers des espèces apparentées (les études sont particulièrement conduites entre le colza et la ravenelle, la moutarde noire, etc., notamment à l'Inra).

Des chercheurs de l'université d'Auburn (Texas) sont parvenus à transformer avec un gène de résistance au glyphosate des chloroplastes de tabac, organites absents du pollen. Plus récemment (Staub, 2000), c'est le gène de la somatotropine, hormone humaine, qui a été inséré dans les chloroplastes de tabac par une équipe de Monsanto, avec une production de protéines 300 fois supérieure à celle obtenue par la transformation du génome nucléaire. Cette nouvelle génération de plantes transgénique pourrait se révéler plus sûre pour l'environnement.

En outre, les partisans espèrent que les plantes transgéniques autoriseront une diminution des épandages de pesticides, tout en augmentant les rendements (et la qualité des produits) sans apports excessifs d'intrants.

## Sécurité alimentaire

Considéré ici dans le sens de l'approvisionnement en quantité et en qualité alimentaire, les plantes transgéniques risquent d'augmenter la dépendance des pays en développement, tout en contribuant à la diminution actuelle du panel variétal. Mais, il faudra pourtant arriver à concilier la croissance démographique et la baisse des surfaces cultivables.

En conclusion, chacun s'accorde sur le fait que les pays en développement devraient être les premiers bénéficiaires des biotechnologies et plus particulièrement de la seconde génération de plantes transgéniques en préparation dans les laboratoires. Mais, tout se jouera sur la réussite de la coopération entre partenaires publics et privés, ces derniers détenant les clés sous forme de brevets (à titre d'exemple, il en existe plus de 500 sur l'utilisation des gènes et toxines insecticides de la bactérie *Bacillus thuringiensis*).

## Bibliographie

Andersen PP, Cohen MJ 2000 —  
Les biotechnologies au secours  
du Sud ? *Biofutur* 200 : 48-53.

Anonyme 1999 —  
Vaccins contre la grippe  
une fois pour toutes. *Biofutur* 194 : 9.

Guillaume M 1999 —  
Du colza dans la margarine.  
*Biofutur* 191 : 11.

Kundel T, Niu QW,  
Chan YS, Chua NH 2000 —  
Inductible isopentenyl transferase  
as a high efficiency marker

for plant transformation.  
*Nat Biotech* 17 : 916-919.

Leroy P 1999 —  
Les atouts du riz jaune.  
*Biofutur* 193 : 10.

Murphy DJ 1999 —  
Le colza carbure aux transgènes.  
*Biofutur* 195 : 22-23.

Staub JM, Garcia B,  
Graves J *et al.* 2000 —  
High-yield production of a human  
therapeutic protein in tobacco  
chloroplast. *Nat Biotech* 18 : 333-338.