

C) Les organismes transgéniques

1) Qu'est-ce qu'un organisme transgénique?

Un organisme transgénique contient de l'**ADN recombinant intégré de manière stable dans toutes ses cellules**.¹ En d'autres termes, l'organisme, qu'il s'agisse d'une plante, d'un animal ou d'un microorganisme, possède un nouveau morceau d'ADN intégré dans un chromosome dans chacune de ses cellules. Ce « nouveau morceau » d'ADN contient généralement un gène provenant d'un autre organisme (plante, animal ou autre) et qui a été modifié de sorte à être exprimé dans le nouvel organisme. Un organisme transgénique peut même posséder l'ADN d'un autre organisme de la même espèce. Le gène inséré peut être appelé le **transgène**.

Les organismes transgéniques sont mis au point à l'aide de la *technologie de recombinaison de l'ADN*, décrite dans la section portant sur le génie génétique.

En général, le nouveau morceau d'ADN renferme un gène qui code pour une protéine particulière. Par conséquent, les organismes transgéniques acquièrent habituellement une nouvelle fonction ou un nouveau trait caractéristique. Par exemple, on a obtenu des cultures possédant un gène offrant une résistance aux insectes; on a créé des animaux qui produisent dans leur lait des protéines pouvant être recueillies et utilisées pour traiter des infections aiguës; et certaines bactéries sont capables de décomposer en toute sécurité des déchets toxiques.

On peut également désigner les **organismes transgéniques** par l'expression **organismes génétiquement modifiés (OGM)**. En fait, on utilise généralement le terme **transgénique** lorsqu'on fait allusion à des animaux, et l'expression **génétiquement modifié** lorsqu'on veut parler de plantes ou de microorganismes auxquels on a intégré de l'ADN recombinant.² **Mais les deux termes signifient exactement la même chose**. Afin d'éviter toute confusion, dans ce document, nous qualifierons de **transgénique** tous les organismes contenant de l'ADN recombinant.

La présente section a été divisée en trois parties : la vie des animaux, la vie des plantes et les microorganismes.

Liste des ouvrages de référence

1. L.A. Moran, K.G. Scrimgeour, H.R. Horton, R.S. Ochs et J.D. Rawn, Biochemistry, deuxième édition, (New Jersey: Neil Patterson Publishers/Prentice Hall, 1994), 33 29.
2. W. Bains, Biotechnology: From A to Z, (New York: Oxford University Press, 1993), 317

2) Les animaux transgéniques

Comment crée-t-on des animaux transgéniques?

Les animaux sont constitués de milliards de cellules. La production d'un animal transgénique doté dans chaque cellule d'un nouveau morceau identique d'ADN semble à première vue un processus fort laborieux! Heureusement, les scientifiques peuvent tirer parti d'une caractéristique fondamentale du développement animal : il est possible de déterminer de quelle cellule proviennent toutes les cellules d'un animal donné. En d'autres termes, chaque animal est né d'une seule cellule, qui s'est divisée et redivisée pour finalement produire les milliards de cellules qui le constituent. En conséquence, pour s'assurer que chaque cellule de l'animal contient le même morceau d'ADN, les scientifiques ajoutent de l'ADN à une entité cellulaire *avant qu'elle ne commence à se diviser*. Le nouvel ADN s'intègre au génome de la cellule et, en théorie, sera présent dans toutes les cellules qui constituent l'animal. La création d'animaux transgéniques est plus complexe que la production de bactéries ou de plantes transgéniques. Les bactéries transgéniques sont relativement faciles à produire, étant donné qu'elles sont unicellulaires. Cela signifie qu'on n'a pas à s'assurer de la présence du nouvel ADN dans toutes les cellules de l'organisme, comme c'est le cas pour les organismes pluricellulaires transgéniques. Pour de nombreux types de plantes, les biotechnologues peuvent amener une cellule de plante transgénique à donner naissance à une plante transgénique.¹

Toutefois, pour créer des animaux transgéniques, il faut modifier les *cellules germinales*.² Les cellules germinales (comme l'ovule et le spermatozoïde) sont les seules cellules animales capables de donner naissance à une nouvelle progéniture. D'autres cellules dans l'animal (appelées *cellules somatiques* comme les cellules du sang, de la peau, du cerveau ou du cœur) ne sont pas capables de donner naissance à de nouveaux animaux qui deviendront adultes.



Pour produire un animal transgénique, on peut entre autres avoir recours à la **micro-injection**. Le nouvel ADN est injecté directement dans un ovule fécondé (zygote) avant qu'il ne commence à se diviser. Le nouvel ADN s'intègre dans un chromosome dans le noyau et sera dès lors présent dans chaque cellule de l'animal qui en résultera. Le nouvel ADN sera également présent dans les cellules germinales de l'animal qui en résultera, ce qui signifie que le nouvel ADN sera transmis à nombre de descendants de cet animal.

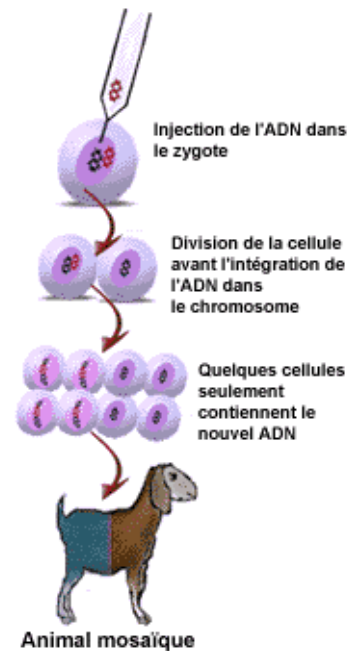
La micro-injection est un processus aléatoire. Il se peut que l'ADN injecté ne s'intègre pas du tout au chromosome du zygote. Aucune des cellules de l'organisme résultant ne possèdera alors le nouvel ADN.

À l'occasion, le nouvel ADN ne s'intègre pas au chromosome avant la division de la cellule. Il en résulte un **animal mosaïque**, qui contient le nouveau gène dans certaines de ses cellules, mais pas dans l'ensemble.

Lors de l'injection de l'ADN, il n'existe aucune façon de prédire l'endroit du noyau où il s'intégrera. En général, l'ADN injecté contient un gène qui code pour une protéine particulière destinée à s'exprimer dans l'animal. De nombreuses régions d'un chromosome donné sont inaccessibles aux enzymes responsables de l'amorce de l'expression génique. L'emplacement de ces régions varie en fonction du type de cellule et permet de s'assurer que seuls les gènes appropriés sont « actifs » dans toute cellule donnée. Si le transgène s'intègre dans l'une de ces régions inaccessibles, la protéine associée ne sera pas produite ou sera peut-être produite uniquement dans certains types de cellules.

En conséquence, les animaux produits à l'aide de cette méthode doivent faire l'objet de tests approfondis visant à déterminer si :

- toutes les cellules de l'animal contiennent le transgène;
- tous les types de cellules voulus produisent le produit protéique du gène.



À quoi servent les animaux transgéniques?

Sujets d'expérimentation pour des maladies en recherche médicale

Les chercheurs ont créé des animaux transgéniques porteurs de maladies héréditaires similaires à certaines de celles qui affectent les humains. Les chercheurs utilisent ces animaux pour mieux comprendre la progression, les étapes et les symptômes d'une maladie. Ces animaux peuvent également être utiles pour sélectionner de nouvelles thérapies ou de nouveaux médicaments de manière plus sûre et peu coûteuse. Le nombre d'animaux de laboratoire utilisés pour mettre au point des médicaments et des thérapies s'en trouve ainsi réduit.¹

La majorité des animaux transgéniques créés à cette fin sont des souris, car elles sont petites et faciles à manipuler et à soigner. Cependant, d'autres animaux comme des rats, des lapins et des porcs ont également servi à modéliser des maladies.

Par exemple, des chercheurs d'Harvard ont été les premiers à créer une « oncosouris », qui est susceptible de développer le cancer du sein ou des ganglions lymphatiques. Ces oncosouris renferment certains gènes délétères qui provoquent le cancer (**oncogène**). On utilise maintenant les oncosouris dans le monde entier pour mettre à l'essai des médicaments et des thérapies contre ces deux types de cancer.

D'autres modèles animaux ont été mis au point pour des maladies comme le sida, la cardiopathie, la fibrose kystique et le diabète.

Bien que les maladies modélisées ressemblent de manière frappante à celles qui affectent les humains, en raison de différences entre l'espèce humaine et les souris, il existe certaines limites quant à l'utilisation de ces animaux en tant que modèles pertinents de la maladie humaine. Par exemple, les souris créées pour contracter la fibrose kystique ont un taux de mortalité postnatal bien plus élevé que les êtres humains atteints de la maladie. Par ailleurs, les êtres humains qui en sont atteints attrapent de graves maladies respiratoires - chose que l'on n'a pas observée chez les souris ayant la fibrose kystique. En raison de ces différences, les scientifiques doivent être très prudents lorsqu'ils tirent des conclusions sur l'évolution ou le traitement d'une

maladie humaine à la lumière des preuves tirées de l'étude d'animaux transgéniques pris comme modèles.

Autres applications de la recherche en génétique

Les organismes transgéniques ont été mis au point pour étudier la structure du gène et sa fonction. Par exemple, les poissons zèbres constituent d'excellents modèles pour étudier comment sont activés les gènes dans le développement de l'embryon. Le fait de comprendre le développement embryonnaire de ce poisson vertébré permet également de mieux comprendre le développement humain, puisque le développement du poisson et celui de l'homme sont en fait fort similaires. Les gènes de développement du poisson zèbre semblent avoir des « cognats » humains - des gènes humains ayant des séquences et fonctions similaires.



Par ailleurs, les animaux transgéniques servent à l'étude d'une fonction d'un gène, car ils permettent d'observer les effets que ces changements génétiques particuliers peuvent avoir sur les caractéristiques de l'animal dans son ensemble.²

Production de médicaments



Dans de nombreux cas, les médicaments administrés pour le traitement d'une maladie sont simplement des protéines humaines. Par exemple, le diabète résulte d'une incapacité des cellules pancréatiques à produire une protéine appelée insuline. Actuellement, on traite les diabétiques en leur injectant de l'insuline obtenue soit d'un donneur humain en bonne santé ou de cultures de bactéries génétiquement modifiées (transgéniques) qui sécrètent la protéine.

Il est très coûteux d'obtenir les protéines à administrer sous forme de médicaments à d'autres humains, et de nombreuses protéines humaines complexes ne peuvent être produites adéquatement par des bactéries. C'est pourquoi les animaux transgéniques, qui peuvent produire de manière relativement bon marché des protéines humaines complexes dans leur lait, commencent à être utilisés pour la production de certaines protéines humaines.

Par exemple, on a créé des chèvres transgéniques qui produisent une protéine anticoagulante appelée antithrombine humaine III (ATIII), qui en est actuellement au stade des essais cliniques aux États-Unis et en Europe. Le médicament peut être administré aux patients subissant un pontage aorto-coronarien par greffe, un type de chirurgie à cœur ouvert.

Une entreprise canadienne de biotechnologie, Nexia Biotechnologies, a créé des chèvres transgéniques qui, selon elle, conviennent parfaitement pour la production efficace et bon marché de produits pharmaceutiques. À l'automne 1998, Nexia a annoncé la naissance au Canada de Willow, la première chèvre transgénique capable de produire dans son lait une protéine susceptible de se révéler d'une importance vitale. La protéine thérapeutique que Willow produira est actuellement gardée secrète pour des raisons commerciales. La société utilise également des chèvres pour produire des *biofilaments* - un matériau solide semblable à de l'acier qui peut servir dans des projets techniques portant sur des matériaux de pointe.¹⁶

En Écosse, l'entreprise PPL Therapeutics a produit Polly, une brebis transgénique porteuse du gène humain codant pour une protéine appelée **facteur IX**. On espère que Polly produira dans son lait la protéine, qui pourra ensuite être extraite et utilisée pour traiter les hémophiles, dépourvus de cet important facteur de coagulation sanguine. Contrairement aux autres animaux transgéniques, Polly a été produite à l'aide de la technologie du clonage par transfert nucléaire. On a employé cette technique, car elle permet de produire un troupeau uniforme d'animaux (clones), possédant tous le transgène et capables de produire la protéine. Comme mentionné ci-avant, la technique de micro-injection plus conventionnelle est un processus aléatoire beaucoup moins efficace. Comme Polly a été créée grâce à la technologie transgénique et à celle du clonage,

on pourrait la qualifier de **clone transgénique!**

Produits animaux nouveaux

Les animaux transgéniques ont été mis au point dans le but d'obtenir des produits animaux nouveaux. Par exemple, on a créé des porcs transgéniques ayant une croissance plus rapide et dont la viande est de meilleure qualité. Ces porcs utilisent également plus efficacement les aliments et résistent aux maladies courantes. On a également mis au point des moutons transgéniques qui donnent une laine de meilleure qualité et auxquels il n'est pas nécessaire d'administrer les suppléments alimentaires habituels que sont les acides aminés souffrés.



En vue d'intensifier la production aquicole, on a mis au point des saumons coho et de l'Atlantique, des barbues de rivière, des bars d'Amérique, des truites arc-en-ciel et d'autres poissons, qui possèdent un gène pour l'hormone de croissance et d'autres facteurs de croissance. On a observé chez ces poissons une vitesse de croissance plus élevée (en général de l'ordre de 30 à 60 %).

Par ailleurs, certains poissons d'eau froide possèdent un gène qui code pour une « protéine antigèle » leur permettant de survivre dans des eaux à des températures inférieures à zéro. La protéine agit en empêchant la formation de cristaux de glace dans le sang. Le saumon de l'Atlantique ne possède pas le gène antigèle, ce qui explique pourquoi des programmes de recherche visant à améliorer la tolérance du saumon de l'Atlantique aux eaux froides à l'aide du « gène antigèle » sont actuellement en cours.

Donneurs d'organes en vue de la xénotransplantation

Des recherches sont actuellement en cours pour mettre au point des porcs transgéniques dont les organes pourront être greffés chez les humains. L'un des aspects du système immunitaire humain reconnaît et détruit toutes les cellules ne possédant pas à leur surface une « étiquette particulière de cellule humaine ». Ces étiquettes sont simplement des protéines de surface distinctes que l'on retrouve uniquement sur les cellules humaines. On a mis au point des porcs transgéniques qui possèdent le gène codant pour une protéine humaine de surface. Par conséquent, ces porcs ont des organes dotés de protéines portant l'étiquette « cellule humaine », qui empêchent cette partie du système immunitaire humain d'attaquer et de détruire l'organe.



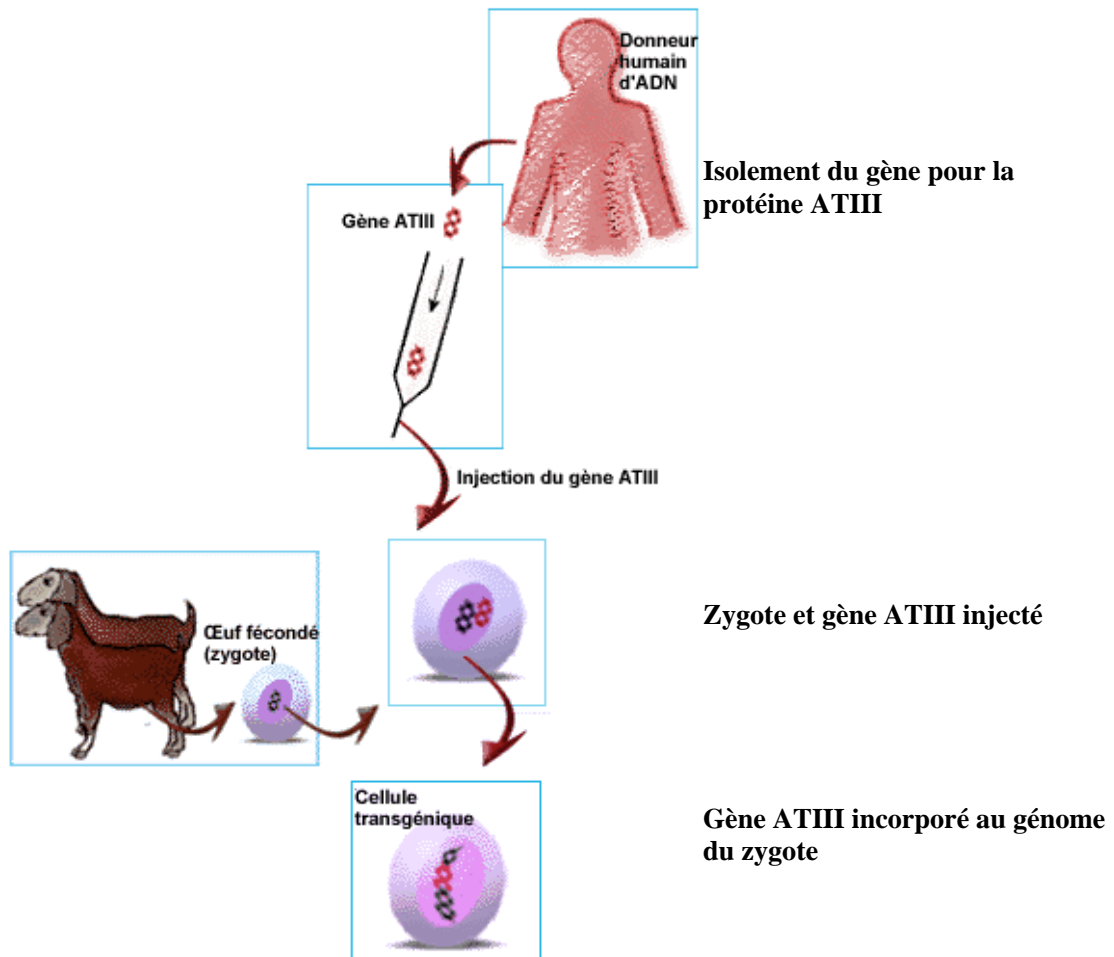
Liste des ouvrages de référence

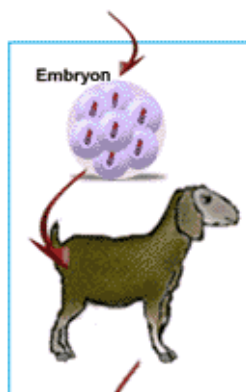
1. W. Bains, *Biotechnology: From A to Z*, (New York: Oxford, 1993), p 317.
2. « Animaux transgéniques, bien-être animal et éthique » dans le Conseil canadien de protection des animaux

Animaux transgéniques

Création d'une chèvre transgénique qui produit une protéine humaine d'importance vitale

****L'utilisation du produit protéique transgénétique ATIII chez les humains comme illustré ci-après s'effectue dans le cadre d'essais cliniques depuis l'automne 1998.**





Embryon transgénique

**Implantation dans la mère
porteuse**



**Le lait de la chèvre contient la
protéine ATIII**



**L'ATIII est prête à être
administrée aux patients
subissant une opération à cœur
ouvert afin d'aider à réguler la
coagulation du sang**

3) Les plantes transgéniques

I. Historique



Depuis les tout débuts de l'agriculture, les agriculteurs tirent parti des différences génétiques entre les plantes. Autrefois, ils choisissaient et cultivaient les variétés de blé ou de maïs qui résistaient le mieux aux maladies, aux parasites ou aux écarts de température, ou encore qui donnaient une meilleure récolte ou de meilleurs produits. Les variétés vulnérables aux maladies ou qui donnaient une récolte de moindre qualité étaient rejetées.

Les caractéristiques de rendement et de qualité peuvent être attribuées à l'expression d'un gène. Comme les agriculteurs ont cultivé les plantes possédant les caractéristiques souhaitées, certains gènes désirables sont devenus plus abondants que les indésirables. Jusqu'à récemment, ce processus de sélection des plantes possédant les caractéristiques génétiques optimales nécessitait des années de culture et de croisement.

À l'aide de la biotechnologie, les scientifiques peuvent maintenant mettre au point plus rapidement et à moindres frais des cultures ayant les caractéristiques souhaitées en **identifiant le gène désiré dans une autre plante (ou animal ou microorganisme) et en l'intégrant dans le génome de la plante receveuse**, créant ainsi une **plante transgénique**. Parfois, on utilise un gène d'une autre plante de la même espèce, mais la plupart des plantes transgéniques comportent des gènes provenant d'autres espèces.

II. Comment sont produites les plantes transgéniques?

Une méthode : à l'aide d'*Agrobacterium tumefaciens*

Souvent employée pour créer des plantes transgéniques comme des tomates ou du soja, cette méthode utilise une bactérie de plante appelée *Agrobacterium tumefaciens*. Celle-ci renferme un plasmide, appelé **plasmide T_i**, qui s'intègre en partie dans l'ADN de la cellule de la plante au moment de l'infection. Cette bactérie, capable d'insérer du nouvel ADN dans la cellule de la plante hôte est un **manipulateur génétique naturel**. Les biotechnologues modifient le plasmide T_i pour le doter du gène qu'ils souhaitent intégrer dans la cellule de la plante. (Pour obtenir une description de la méthode employée, veuillez vous reporter à la section sur le génie génétique). Le plasmide est ensuite réintroduit dans la cellule bactérienne. Lorsque cette bactérie infecte une cellule de plante, **le nouveau gène s'intègre dans le génome de la cellule de la plante**. La cellule modifiée de la plante peut ensuite se transformer en une plante complète, qui contiendra le nouvel ADN dans toutes ses cellules.¹

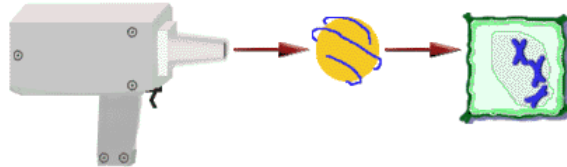
D'autres méthodes ont été mises au point pour introduire des gènes dans les types de plantes qui, généralement, ne sont pas infectées par l'agrobactérie. Ces méthodes sont décrites ci-après.

Une deuxième méthode : à l'aide de la biolistique

On appelle parfois " fusil génétique " le **Système biolistique d'introduction des particules**.

Le fusil propulse de minuscules particules d'or ou de tungsten (d'un diamètre de 1Fm) recouvertes d'ADN dans le tissu de la plante. Les particules pénètrent dans la cellule à travers la paroi cellulaire rigide de nombreuses cellules de la plante présentes dans le tissu, et y libèrent l'ADN contenant les gènes recherchés.

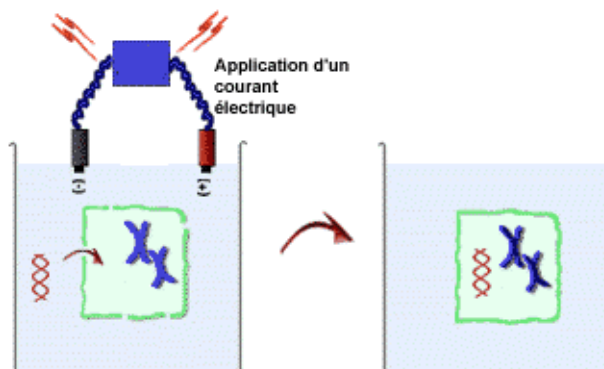
Les cellules qui intègrent le nouvel ADN dans leur génome sont sélectionnées et donnent naissance à des plantes transgéniques adultes.³



Une troisième méthode : à l'aide de l'électroporation

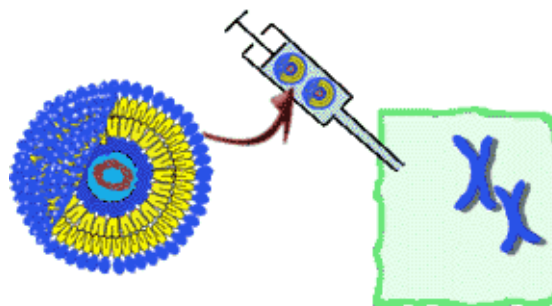
Normalement, l'incubation de l'ADN dans une solution comprenant des cellules de plantes ne suffit pas pour que celles-ci absorbent l'ADN, parce que chaque cellule de plante est entourée d'une membrane cellulaire et d'une paroi cellulaire, qui font obstacle à la pénétration de l'ADN. Toutefois, lorsqu'on **applique de courtes décharges électriques de forte intensité aux protoplastes de la cellule de la plante** (cellules de plante dont on a retiré la paroi, mais qui possèdent encore leur membrane), de petits pores se forment dans la membrane cellulaire. Ces pores sont suffisamment grands pour permettre à l'ADN de la solution de pénétrer dans la cellule. Après les décharges, les pores se referment, piégeant le nouvel ADN dans la cellule.

Un petit nombre des cellules de la solution non seulement absorberont l'ADN, mais l'intégreront dans leur génome. Ces cellules sont sélectionnées et donnent naissance à des plantes transgéniques exprimant le gène recherché



Une quatrième méthode : à l'aide de la micro-injection

Cette méthode est également employée pour produire des cellules animales transgéniques. L'ADN est d'abord incubé avec des **liposomes**. Les liposomes sont de petites vésicules creuses de molécules lipidiques capables de transporter de l'ADN en leur sein. Lorsque les liposomes sont incubés avec de l'ADN dans des conditions particulières, l'ADN est absorbé. On appelle **lipoplexes**² les liposomes contenant de l'ADN plasmidique.



Les lipoplexes sont ensuite injectés dans une cellule de plante, introduisant ainsi le nouvel ADN dans cette cellule. Si le nouvel ADN est intégré au génome de la cellule, celle-ci peut donner naissance à la plante transgénique recherchée.

III. Créer de nombreuses plantes génétiquement identiques

Une fois que l'on a produit la plante génétiquement modifiée à l'aide de l'une des méthodes susmentionnées, **cette plante peut servir à la reproduction d'un nombre accru de plantes possédant les mêmes caractéristiques recherchées**. On peut employer les méthodes de culture traditionnelles, où les semences de la nouvelle plante servent à transmettre les gènes insérés à celles auxquelles elles donneront naissance. Parfois, les sélectionneurs de végétaux emploient une technique appelée **micropropagation** (appelée plus simplement « bouture »), par laquelle des plantes adultes sont cultivées à partir d'une seule cellule ou de petits morceaux de la plante dans une culture de cellules ou de tissus en vue de la multiplication rapide de plantes identiques.

IV. Quelles sont les utilisations des plantes transgéniques?

Les plantes transgéniques peuvent servir à diverses applications. Certaines sont présentées ci-après sous quatre catégories : qualités du produit, accroissement du rendement, production de plantes résistantes aux parasites et aux maladies et production de médicaments.

Qualités du produit

De nombreuses plantes transgéniques ont été mises au point pour améliorer la qualité de leur produit. Par exemple, on a inséré dans des plantes de tomates des gènes qui **retardent le mûrissement et le ramollissement de la tomate**. Par conséquent, ces tomates ont une plus longue durée de conservation à l'étalage et on réduit le gaspillage.

Tomates renfermant un gène qui contrôle le mûrissement



D'autres plantes ont été manipulées génétiquement afin de donner des aliments plus sains. Des lignées de colza canola et de soja, par exemple, ont été génétiquement modifiées afin de renfermer des **concentrations et des types de gras plus sains**. Par ailleurs, la **teneur en acides aminés** du maïs et du soja a été améliorée, et on a manipulé certaines pommes de terre pour qu'elles renferment une plus grande teneur en amidon.

Par ailleurs, **trois génomes** sont actuellement à l'étude afin de déterminer les rôles de milliers de gènes responsables de diverses caractéristiques des arbres. On prévoit que les résultats de ces recherches permettront aux biologistes de créer des arbres génétiquement modifiés qui grandiront plus vite ou produiront un bois de qualité supérieure.

Royal Dutch/Shell a modifié génétiquement des eucalyptus pour qu'ils renferment de la lignine modifiée, colle moléculaire qui permet à des fibres ligneuses d'adhérer ensemble. L'enlèvement de la lignine constitue l'étape la plus difficile du **processus de production de pâtes et papiers**. Ces arbres, qui poussent maintenant sur des terrains d'essai en Uruguay et au Chili, renfermeront de la lignine plus facile à enlever.

Les plantes transgéniques peuvent également être employées pour produire du plastique ou d'autres matières autrefois synthétisées artificiellement. Par exemple, en 1997, des scientifiques de la société Agracetus au Wisconsin ont indiqué avoir produit des cotonniers génétiquement modifiés qui contiendraient dans le milieu creux de leurs fibres de coton une petite quantité de polyester plastique appelé **polyhydroxybutyrate (PHB)**.

Récolte du coton



Ces nouvelles plantes ont été mises au point à l'aide de la Biolistique. Jusqu'à présent, la production de PHB n'est pas très élevée, mais Agracetus affirme que cette transformation améliore de 8,6 % la capacité du coton tissé à partir de ces plantes hybrides coton-polyester à retenir la chaleur. Les scientifiques envisagent aussi d'insérer d'autres formes plus complexes de PHB, des polymères d'autres plantes et de la kératine (protéine qui produit le cheveu humain), qui aideraient le nouveau coton à **emprisonner la chaleur** et à **préserver les couleurs**.

Accroissement du rendement

Les plantes capables de résister aux variations climatiques ont davantage tendance à donner un meilleur rendement lorsque le climat est inclément. En modifiant les **facteurs de choc thermique** (les facteurs de choc thermique permettent aux protéines mal enroulées de reprendre leur forme adéquate lorsqu'elles sont endommagées par des températures élevées pendant les étés chauds), les généticiens ont réussi tout récemment à créer des plantes *Arabidopsis thaliana* tolérantes à la chaleur. On a constaté que ces plantes modifiées génétiquement étaient plus robustes, toléraient généralement mieux les sols salés, les températures chaudes et froides et la sécheresse.

Comme les cultures ont des facteurs de choc de chaleur similaires, des modifications similaires pourraient peut-être donner lieu à de nouvelles cultures capables de produire un meilleur rendement pendant les saisons exceptionnellement chaudes, sèches ou froides.

À Sainte-Foy, au Québec, les scientifiques d'Agriculture et Agroalimentaire Canada ont identifié **deux gènes dans la luzerne directement liés à la tolérance au froid**. Par conséquent, il sera désormais possible de mettre au point de manière plus rapide et moins onéreuse de nouvelles lignées de luzerne tolérantes au froid. (On estime à 10 millions de dollars par an au Québec seulement la perte de luzerne par suite de l'exposition à des températures froides) cette application de la biotechnologie permettra peut-être d'éviter ces pertes.

Pour accroître le rendement des cultures, on peut aussi les piéger en leur faisant croire que l'automne n'est pas encore arrivé. En automne, les plantes expulsent généralement des protéines utiles de leurs feuilles pour les entreposer dans leurs semences ou dans leur tronc ou branches (ce qui provoque le changement de couleur) avant de laisser tomber les feuilles. Ce processus s'amorce lorsque les gènes des plantes produisant des enzymes particuliers sont « activés ».

Pour empêcher ces enzymes d'arrêter la production de la plante, des scientifiques de l'Université du Wisconsin Madison ont ajouté un gène qui s'active en même temps que les gènes responsables de l'arrêt de la production. Ce nouveau gène produit un enzyme qui fabrique une hormone appelée **cytokinine**. La cytokinine encourage les feuilles à rester vertes. La présence de cytokinine invalide le message d'arrêt, et garde les feuilles vertes pendant une bonne partie de l'automne, **prolongeant ainsi la saison de croissance de la plante**. On a également découvert que ces plantes modifiées restaient plus vertes et plus fraîches plus longtemps après avoir été coupées.

Cette technique pourrait en fin de compte être appliquée aux cultures. Les semaines supplémentaires de photosynthèse pourraient accroître le rendement des céréales et des fleurs et prolonger la durée de conservation à l'étalage de légumes à feuilles comme la laitue et le chou.

Production de plantes résistantes aux parasites et aux maladies

La **protection des cultures contre des agents pathogènes** comme des insectes, des virus et des champignons a toujours été un grand problème pour les agriculteurs. Souvent, on tient les parasites à distance en pulvérisant sur les cultures des pesticides chimiques, dont certains se sont révélés nocifs pour l'environnement. La biotechnologie offre des solutions nouvelles et écologiques pour venir à bout de ces parasites.

Dans certains cas, on peut mettre au point des cultures **naturellement résistantes** à ces parasites. On a protégé certaines variétés de tomates, de maïs et autres contre des insectes nuisibles en insérant un gène provenant d'une bactérie appelée *Bacillus thuringiensis* (BT). Le gène entraîne la production d'une protéine mortelle pour certains insectes phyllophages comme le sphinx de la tomate.



Lorsque l'insecte mange la plante, il ingère la protéine, et les enzymes de son estomac convertissent la protéine en une toxine mortelle qui entraîne la paralysie et la mort. Comme on ne retrouve pas les enzymes en question dans d'autres insectes ou animaux, la protéine est inoffensive pour ces derniers. L'utilisation de BT est écologique et évite l'emploi de pesticides chimiques.⁴

L'un des problèmes occasionnés par l'utilisation de BT consiste à éviter de produire un nombre excessif d'insectes nuisibles résistants à BT. Bien que la présence de quelques insectes naturellement résistants à BT soit toujours inévitable, on craint que l'utilisation généralisée de BT ne tue tous les insectes qui ne sont pas naturellement résistants, laissant uniquement les résistants se multiplier. Après quelques générations, presque tous les insectes nuisibles ciblés par BT y seraient résistants..

De nombreux autres essais ont été faits afin de favoriser la résistance des cultures aux maladies ou aux agents pathogènes. Par exemple, un nouveau gène qui code pour une petite protéine inoffensive provenant du **virus de la mosaïque du tabac (VMT)** a été incorporé dans des plantes comme des tomates. Par conséquent, les cellules de la plante expriment la protéine, ce qui les « immunise » contre l'infection par le VMT, qui provoquerait le blanchiment et la mort des feuilles. L'immunité se produit du fait que le VMT n'infecte pas une cellule déjà infectée par lui, et la présence de la seule protéine inoffensive dans toutes les cellules de la plante pousse le VMT à se comporter comme si les cellules de la plante étaient déjà infectées

Par ailleurs, les scientifiques du Centre de foresterie des Laurentides (Sainte-Foy, Québec) du Service canadien des forêts essaient également d'introduire des gènes d'insecte dans les arbres de sorte qu'ils soient résistants à certains champignons nocifs.

Production de médicaments

On a mis au point des plantes transgéniques capables de produire d'importants **médicaments et vaccins**. Par exemple, un gène humain a été ajouté à une lignée de maïs, ce qui entraîne la sécrétion, par le maïs, d'**anticorps humains destinés à adhérer aux cellules tumorales et à les tuer**. À l'automne 1997, ces anticorps en étaient au stade des essais cliniques sur des patients atteints du cancer.

On a également mis au point une variété de soja génétiquement modifié qui produit des **anticorps humains contre le virus herpès simplex de type II** dans l'espoir de produire un médicament contre l'herpès que l'on pourrait ajouter dans les contraceptifs.



Il est parfois beaucoup moins coûteux d'utiliser des plantes transgéniques pour produire un médicament donné que d'employer d'autres moyens. Par exemple, on a mis au point du tabac transgénique qui fabrique un enzyme appelé **glucocérébrosidase** dans ses feuilles. Il est très coûteux d'obtenir cet enzyme par les moyens classiques; les gens atteints de la maladie de Gaucher qui ne peuvent fabriquer cet enzyme crucial dans leur corps paient actuellement jusqu'à 160 000 \$ (US) par an pour l'obtenir.



L'Organisation mondiale de la santé estime que deux millions d'enfants meurent chaque année de maladies traitables ou évitables comme la diphtérie, le tétanos, la coqueluche, la polio, la rougeole et le choléra. Elle a exhorté les chercheurs à mettre au point des vaccins bon marché faciles à administrer. C'est ainsi qu'une équipe de chercheurs de l'Université de Californie a mis au point des **pommes de terre transgéniques porteuses d'un vaccin contre le choléra**. Les plantes donnent des pommes de terre contenant la **toxine cholérique B (TCB)**, protéine inoffensive qui suscite une réponse immunitaire contre la maladie chez les souris et les êtres humains. Au début de 1998, on a effectué des tests durant lesquels on a donné des pommes de terre transgéniques cuites (car les êtres humains n'aiment pas les pommes de terre crues!) à manger à des souris et les résultats obtenus ont été positifs.

V: Canola

Au Canada, qui est un chef de file mondial en biotechnologie agricole, on cultive du colza canola transgénique sur plus de 1,6 million d'hectares. Le colza canola est une importante source d'huile végétale dans le monde et représente plus de 60 % de la production canadienne d'huile végétale raffinée.



Le colza canola est également une culture de choix pour les biotechnologues pour au moins deux raisons. Tout d'abord, il est très facile, à l'aide d'Agrobacterium, d'introduire de nouveaux gènes dans les cellules du colza canola. Deuxièmement, on peut produire du colza canola à partir d'une seule cellule par micropropagation. Ceci rend très facile la production d'un colza canola transgénique, puisque le nouveau gène peut être introduit dans une seule cellule dans un boîte de Pétri et se transformer en une plante transgénique adulte.

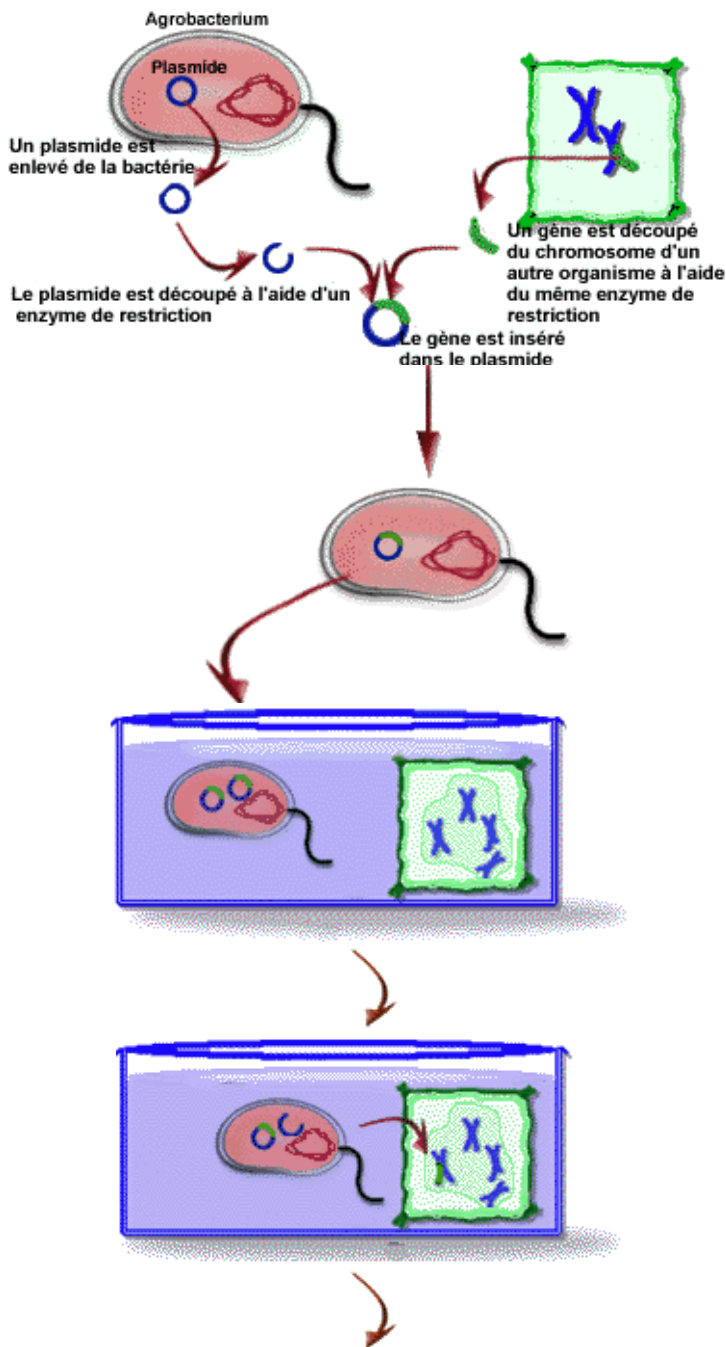
L'huile de colza canola transgénique, tiré d'une lignée de colza canola résistante aux herbicides, est déjà sur le marché canadien. Parmi les autres produits de colza canola transgénique déjà mis à l'essai en champ ou en cours d'élaboration, mentionnons les produits thérapeutiques, les détergents, la margarine, les produits cosmétiques, les lubrifiants, les résines et les revêtements.

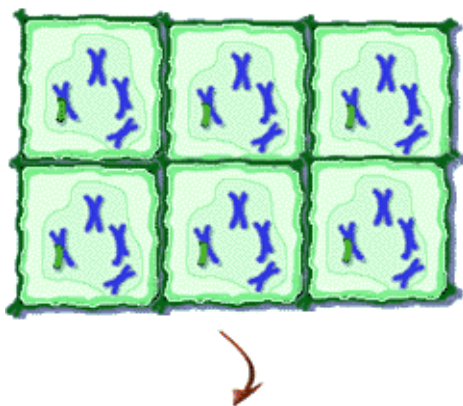
Liste des ouvrages de référence

1. P.H. Raven, et G.B. Johnson, *Biology*, troisième édition, (St. Louis: Mosby Year Book, 1992), 358-9.
2. W. Bains, *Biotechnology: From A to Z*, (New York: Oxford University Press, 1993), p 254-255.
3. J.M. Widholm, Transformation of Soybean Embryogenic Suspension Cultures via Particle Bombardment, dans University of Illinois à Urbana-Champaign Department of Crop Sciences
4. P.H. Raven, and G.B. Johnson, *Biology*, troisième édition, (St. Louis: Mosby Year Book, 1992), p 360-361.

Plantes transgéniques

Production de colza canola transgénique à l'aide d'*agrobacterium*





À mesure que la cellule de colza canola se divise, chaque cellule subséquente reçoit le nouveau gène.

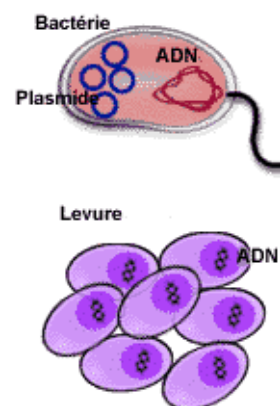
Après de nombreuses divisions cellulaires, du colza canola transgénique dont chaque cellule contient le nouveau gène est créé.

Le nouveau gène, lorsqu'il est exprimé, donnera à la plante un nouveau trait, comme la résistance aux insectes ou la capacité de produire des médicaments.

4) Les microorganismes transgéniques

Qu'est-ce qu'un microorganisme?

Un microorganisme est un organisme trop petit pour être observé à l'œil nu. L'utilisation d'un microscope se révèle indispensable. Certains microorganismes, comme les bactéries, (qui ne comportent pas de cellule du tout) sont également considérés comme des microorganismes.¹ Un organisme transgénique est un microorganisme qui possède de l'ADN recombinant (et qui contient généralement un gène) intégré à toutes ses cellules. La plupart des organismes transgéniques sont des bactéries **unicellulaires** ou des levures (champignons unicellulaires). C'est pourquoi nous nous intéresserons principalement aux bactéries et levures transgéniques.

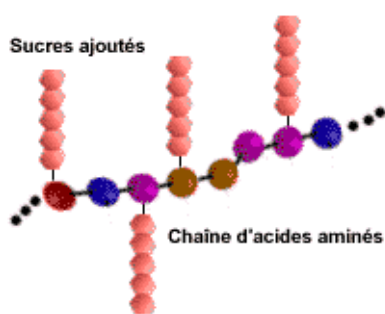


Comment crée-t-on les microorganismes transgéniques?

Il est relativement plus facile de créer un organisme unicellulaire transgénique que de produire un animal ou une plante pluricellulaire transgénique. Pour produire un organisme pluricellulaire transgénique - et les plantes et les animaux peuvent posséder des milliards de cellules -, il faut avant tout s'assurer que le nouvel ADN est intégré à toutes les cellules de l'organisme, problème qu'on ne rencontre pas avec les organismes unicellulaires.

Les bactéries par exemple peuvent proliférer en colonie sur une boîte de Pétri. Une colonie est un groupe de cellules (chaque cellule est un microorganisme bactérien) issues de la division continue d'une seule cellule. Comme toute cellule bactérienne peut donner naissance à une colonie de cellules identiques, une bactérie contenant de l'ADN recombinant peut donner naissance à une colonie de bactéries transgéniques identiques en l'espace de quelques heures. En général, on crée des bactéries *Escherichia Coli* (ou *E. Coli*) transgéniques.

Pour produire des bactéries transgéniques, le gène recherché est intégré dans un plasmide (un plasmide est une boucle relativement petite d'ADN pouvant facilement s'introduire dans des cellules bactériennes ou en sortir). Le plasmide est ensuite incubé avec les bactéries dans des conditions particulières qui favorisent son absorption par les bactéries. Une bactérie qui absorbe et retient le plasmide est transgénique. Grâce au processus ordinaire de synthèse des protéines, le gène recherché donne naissance à des protéines qui dotent la bactérie d'une nouvelle caractéristique.



Même si les bactéries sont faciles à manipuler, elles ne constituent pas toujours la solution idéale pour la production de protéines humaines. Chez les humains, certaines protéines (et souvenez-vous que les protéines sont principalement composées d'une ou de plusieurs chaînes d'acides aminés) sont modifiées par des enzymes spéciaux après leur production. L'une des modifications les plus courantes est l'ajout de « segments » de sucre à la chaîne d'acides aminés. C'est ce qu'on appelle **glycosylation**. Souvent, une protéine ne peut fonctionner convenablement si elle n'a pas été glycosylée. Comme les bactéries ne glycosylent pas les protéines qu'elles produisent, elles ne constituent pas toujours la meilleure solution pour l'expression des protéines.

Par ailleurs, les levures transgéniques, capables de glycosyler des protéines, sont souvent mises au point en vue de la production des protéines qui, pour être efficaces, doivent être glycosylées. La production de levures transgéniques nécessite également l'utilisation de plasmides. L'une des espèces de levure le plus souvent utilisées à cette fin est la levure de boulanger (*Saccharomyces cerevisiae*).

Dans l'industrie, les bactéries et levures transgéniques sont employées pour produire d'importantes quantités de protéines ou d'autres produits biologiques. À cette fin, on utilise de grandes cuves appelées **bioréacteurs**. Un bioréacteur peut contenir plusieurs litres ou plusieurs milliers de litres de milieu nutritif liquide et des bactéries dans des conditions de croissance optimales. La quantité de protéines ou d'autres produits biochimiques fabriqués à l'aide de microorganismes transgéniques dans les bioréacteurs dépasse de loin la quantité qu'il est possible d'obtenir par les moyens classiques (comme par l'intermédiaire de donneurs humains ou d'animaux) et souvent, leur pureté est bien plus grande.

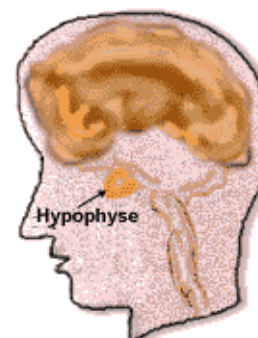
Quelles sont les applications des microorganismes transgéniques?

Les microorganismes transgéniques sont au centre de nombreuses recherches en génétique. La mise au point de bactéries qui possèdent ou expriment un certain gène est souvent une procédure ordinaire menée dans le cadre de l'étude du gène en question. Ces bactéries transgéniques peuvent être utilisées comme sources d'ADN ou de protéines pouvant servir dans des expériences qui aident en fin de compte les scientifiques à mieux comprendre les processus biochimiques ou la régulation et la fonction des gènes. La présente section porte sur certaines utilisations des bactéries et levures transgéniques à des fins autres que la recherche. On parle ci-après de l'utilisation de ces microorganismes en vue de la production de protéines utiles sur le plan médical et de la biorestauration (décomposition de contaminants toxiques en sous-produits inoffensifs à l'aide d'organismes vivants).

Production de protéines utiles sur le plan médical

Comme nous l'avons indiqué, on crée des bactéries *E. Coli* qui produisent de l'insuline humaine. L'insuline est une protéine que produisent par eux-mêmes la plupart des êtres humains et qui régule le taux de glycémie. Les personnes incapables de produire de l'insuline souffrent de diabète. On traite de nombreux diabétiques en leur injectant de l'insuline obtenue d'autres sources. Par exemple, on prélevait généralement de l'insuline chez les vaches et les porcs, qui fabriquent leur propre insuline. Toutefois, comme l'insuline de ces animaux a une structure légèrement différente de l'insuline humaine, son injection suscitait parfois une réaction allergique chez les patients. On évite ce problème lorsqu'on utilise **des bactéries transgéniques contenant le gène de l'insuline humaine**, puisque l'insuline qu'elles produisent est identique à celle présente naturellement chez les humains.⁵ La levure de boulanger (*Saccharomyces cerevisiae*) a également été génétiquement modifiée en vue de la production d'insuline humaine.

On a également fabriqué des bactéries transgéniques qui produisent l'**hormone de croissance humaine** (HCH). Celle-ci est normalement produite par l'hypophyse de l'individu (située à la base du cerveau) pour stimuler la croissance. Le nanisme, anomalie qui empêche l'enfant d'atteindre une taille normale, est provoqué par un déficit en HCH. On peut traiter les enfants qui en sont atteints en leur administrant des HCH produites par des bactéries génétiquement modifiées.²



Il existe de nombreuses autres protéines utiles sur le plan médical produites à l'aide de microorganismes transgéniques, comme les interférons (glycoprotéines qui aident le corps à combattre les infections virales) et de nouveaux vaccins contre des maladies comme le sida.²

Biorestauration

Chaque organisme vivant, depuis les animaux jusqu'aux plantes en passant par les bactéries, ingère des nutriments pour vivre et produit par la suite des déchets. Différents organismes ont besoin de types différents de nutriments, que les processus métaboliques vitaux décomposent de manière particulière, après quoi les organismes les excrètent.



Certaines bactéries se développent grâce à des composantes chimiques de déchets, et leur métabolisme convertit ces matières dangereuses ou toxiques en produits inoffensifs. Par exemple, certains microorganismes se nourrissent de matières toxiques ou dangereuses comme les hydrocarbures (pétrole), le chlorure de méthylène, une variété de détergents, la créosote, le pentachlorophénol, le soufre et le biphényle polychloré (PBC). On appelle **biorestauration** l'utilisation d'organismes vivants pour dégrader les déchets.

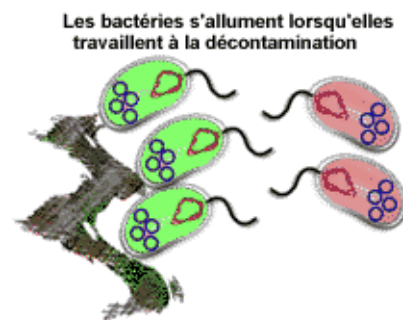
La grande majorité des applications de la biotechnologie environnementale utilisent des

microorganismes d'origine naturelle pour décomposer et filtrer les déchets avant qu'ils ne s'introduisent dans l'environnement. Toutefois, on étudie et met à l'essai certains systèmes plus perfectionnés utilisant des microorganismes transgéniques pour traiter les déchets et prévenir la pollution afin d'enlever des matières difficiles à décomposer.

Par exemple, on a mis au point des bactéries transgéniques *Pseudomonas* capables de décomposer des composés polyhalogénés, qui constituent une grande catégorie de polluants, en des produits inoffensifs. On a également mis au point des bactéries capables de convertir des ions de métaux lourds toxiques en des formes d'éléments moins toxiques plus faciles à isoler et à enlever de l'environnement. Par exemple, les chercheurs ont signalé la mise au point de *E. Coli* transgénique capable de nettoyer les milieux pollués par le mercure (Hg^{2+}).

On a créé des microorganismes transgéniques possédant des gènes pour la bioluminescence (éclairage) ainsi que des gènes présents à l'état naturel qui leur permettent de décomposer les contaminants. Le résultat de cette relation génétique est que les bactéries s'allument lorsqu'elles travaillent à la décontamination.

Par exemple, les gènes pour la production de lumière (lux-gènes) ont été liés aux gènes d'un microorganisme pour la décomposition de la naphthaline.



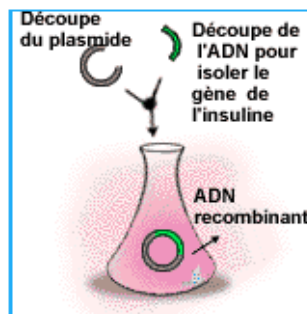
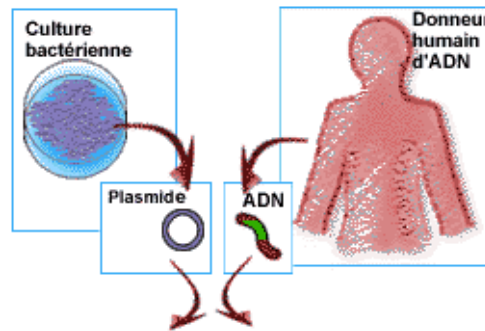
On mesure l'activité du microorganisme sur place en fonction des changements dans les niveaux de lumière relevés par les détecteurs à fibres optiques. Ce système de repérage permet aux scientifiques de déterminer, en fonction de l'intensité de la lumière émise, si les bactéries font leur travail. Par ailleurs, les scientifiques peuvent analyser rapidement l'efficacité de l'organisme et optimiser les conditions (comme les niveaux nutritifs) pour une émission maximale de lumière (et donc d'activité de biodégradation).³

Liste des ouvrages de référence

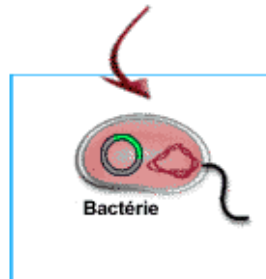
1. L.A. Moran, K.G. Scrimgeour, H.R. Horton, R.S. Ochs et J.D. Rawn, *Biochemistry*, (New Jersey: Neil Patterson, 1994) p 33-35.
2. J. Katz and D.B. Satellite, *Biotechnology for All*, (Cambridge: Hobsons, 1991) p 28-29.
3. E. S. Grace, *Biotechnology Unzipped: Promises and Realities*, (Toronto: Trifolium Books Inc., 1997), p. 140.

Microorganismes transgéniques

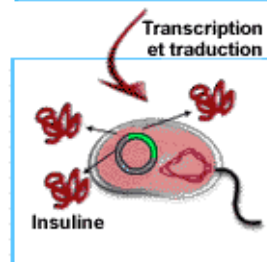
Création d'une bactérie transgénique qui produit de l'insuline humaine



Insertion du gène de l'insuline dans le plasmide



Absorption de l'ADN recombinant par la bactérie



La bactérie produit de l'insuline



L'insuline est prête pour administration aux patients diabétiques

5) Articles sur le génie génétique

Modifier les gènes, pour l'enfer ou le paradis

De plus en plus, le débat sur les organismes transgéniques sort de la sphère scientifique ou financière pour envahir la rue et l'internet. Destruction de milliers d'hectares de colza suédois et français, saccage de champs expérimentaux par des militants anti-OGM, vote au Parlement européen, étiquetage obligatoire, résultats boursiers euphoriques, création de biotechnopoles (sites regroupant des entreprises spécialisées dans les «sciences de la vie»), rachats de sociétés: plus un jour sans qu'un événement - programmé ou accidentel - vienne rappeler les multiples enjeux liés aux organismes génétiquement modifiés. Socio-politiques, économiques, voire culturelles, les facettes que cette réalité draine avec elle sont complexes, planétaires et souvent mal cernées. A Bruxelles, à l'initiative des Amis de la Terre et d'Oxfam-Solidarité, une conférence sur le développement durable vient de s'achever, qui a regroupé 250 représentants du monde entier (ONG, politiques, privés). Durant trois jours de discussions et de controverses, les OGM ont été, sur toutes les lèvres, bannis ou adulés. En même temps, les analystes financiers sont euphoriques. Les valeurs biotechnologiques ont connu un engouement incroyable, explique-t-on chez Petercam. Principale coqueluche des investisseurs: la génotechnologie, qui dresse des cartes de gènes et concentre les informations sur les maladies. Celera Genomics, par exemple, a enregistré une hausse de plus de 800 %. Il y a quelques mois encore, la question des OGM était cantonnée dans des sphères ciblées. Aujourd'hui, poussé par certains groupes de pression ou par les préoccupations d'un nombre croissant de citoyens, producteurs et consommateurs du monde entier, le débat est dans la rue et sur internet. L'enjeu est ciblé: ne pas laisser, au risque d'éluder les vraies questions, le dossier aux seules sphères scientifiques et politiques. Sensible à cette nouvelle donne, le secrétaire d'Etat belge à la Coopération au développement, Eddy Boutmans, vient de demander un passage au crible de tous les projets de coopération subsidiés par l'Etat belge. Le but: vérifier si certains utilisent des OGM. Vu les incidences multiples de ces techniques sur la vie des populations dans les pays en voie de développement, nous devons veiller à ce que nos projets agronomiques ne puissent avoir des effets pervers sur le plan social ou économique, précise-t-il. Pour les partisans comme pour les opposants, la problématique des OGM est devenue incontournable: pour le meilleur ou pour le pire, elle changera la vie la plus intime de chacun. Voire la face du monde: au-delà de ses applications industrielles, cette technologie bouleverse les règles fondamentales du droit et de l'environnement.

«Parer au plus pressé: nourrir demain»

Klaus Lampe, docteur en agronomie, allemand au look de professeur Piccard, dit n'avoir plus rien à gagner ni à perdre. Toute sa vie active, il l'a passée entre les deux hémisphères, entre Francfort, l'Afghanistan, les Philippines et les champs expérimentaux du monde entier, dans la coordination de projets internationaux de recherche sur les variétés de semences. Son combat est, selon lui, désintéressé: si, à plus de 60 ans, il milite aujourd'hui ouvertement pour le développement de la recherche et de la production de semences génétiquement manipulées, c'est qu'il y a urgence : il faut décupler les moyens pour nourrir la planète, sans l'épuiser, d'ici 2050. Et le problème n'est pas que démographique, ajoute-t-il. Les surfaces arables, les réserves en fertilisants fossiles et en eau potable diminuent, tandis que la population augmente et se concentre dans les villes. Il nous faut construire sans tarder des systèmes de production agricole totalement nouveaux. Et Klaus Lampe de se lamenter sur le fossé qui se creuse entre partisans et opposants des biotechnologies poussées, sur le temps et l'énergie gaspillés. Pour lui, le Nord s'offre le luxe de son opulence...sur le dos du reste du monde. Nous souffrons tous de cholestérol et non de malnutrition , ajoute-t-il . Nous ne pouvons pas faire honnêtement la part des dangers planétaires. Notre peur suprême: non pas avoir faim, mais avoir moins d'argent demain qu'aujourd'hui. Dans le Sud, par contre, la lutte quotidienne pour la subsistance est la préoccupation essentielle. Elle le sera plus encore demain, avec dix milliards de bouches à nourrir au lieu de cinq, dont quatre sur cinq seront des bouches affamées. Pour l'expert en agronomie aussi, tout est politique: si on investissait globalement dans un autre modèle de société, où les villes sont de taille humaine, où les campagnes sont repeuplées, où les ressources sont gérées avec parcimonie, tout serait repensable autrement. Mais la marche du monde va actuellement dans l'autre sens: ne pas l'admettre est criminel.. L'évolution des techniques agroalimentaires est un peu comme l'évolution de l'automobile, ose-t-il . Elle n'est pas dénuée de risques, bien sûr. Mais personne ne pense à éradiquer la voiture parce qu'elle tue des centaines de milliers de personnes chaque année. On travaille sans relâche à la rendre plus sûre. Avec les biotechnologies, l'enjeu est le même: nous devons travailler à les rendre plus sûres et informer la population au maximum sur les enjeux et les risques. L'objectif est connu: produire plus de nourriture saine, au plus vite. Pour le reste, soyons pragmatiques: «On ne peut arrêter la course du vent, les mains ouvertes», dit un proverbe chinois.

Les OGM soufflent le chaud et le froid

Constat chiffré: les surfaces totales plantées de semences transgéniques ne cessent de croître. On en dénombrait 40 millions d'hectares au début de l'année, pour moins de deux millions en 1996. Soit 20 fois plus en trois ans. Au top 5 des pays producteurs de céréales transgéniques, on trouve, dans l'ordre, les Etats-Unis, avec 29 millions d'hectares à eux seuls, l'Argentine (7), le Canada (4), la Chine (0,3), l'Australie et l'Afrique du Sud (0,1 chacune). Ces douze derniers mois, la progression des plantations dans les pays en voie de développement a d'ailleurs été plus rapide que dans les pays industrialisés. Et c'est sans doute dans l'hémisphère Sud que l'avenir des cultures transgéniques se joue pour le moment. Au Nord, en effet, la progression globalement exponentielle commence à vivre ses premiers retours de manivelle. Sur le marché mondial, le prix du soja est à son taux le plus bas depuis trente ans. Et certaines plaques tournantes du marché, comme celle de Tokyo, affichent déjà deux cotations différentes à la demande de leurs clients: une pour les semences transgéniques et une pour les autres. D'autres signes avant-coureurs d'un possible repli de l'avancée commerciale des OGM viennent de leur berceau américain. Des résultats de recherches réalisées par deux universités américaines et publiés récemment confirment une thèse avancée par les anti-OGM: les agriculteurs qui produisent du maïs ou du soja transgéniques ont un rendement à l'hectare à peine supérieur aux variétés conventionnelles. Pire encore: d'après une enquête fédérale, les agriculteurs américains ont décidé de réduire les surfaces ensemencées de variétés génétiquement modifiées: le maïs OGM passera du tiers au quart de la production américaine totale, le soja de 57 à 52% et le coton, de 55 à 48%. Globalement, la récolte 2000 devrait donc être en diminution pour le pays le plus engagé dans la croisade pro-OGM. Conclusion: l'économie de marché a été plus efficace que les textes légaux pour appliquer dans les faits le principe de précaution, si cher aux pays européens.

Arsène Burny: «Pas plus risqué qu'un accouplement»

Arsène Burny est professeur en biologie moléculaire et chercheur de renom. Il est connu du grand public par le «Télévie», dont il est l'initiateur. * Comment justifiez-vous votre combat particulièrement engagé sur le front des défenseurs des biotechnologies et, plus précisément, des OGM? * C'est un des secteurs les plus prometteurs pour le genre humain en terme de sciences appliquées dans la vie quotidienne. Et les applications sont infinies, même si nous avons tous peur de cet infini. Il faut définitivement accepter qu'on sache ce qu'on est et ce qu'on a, sans savoir de quoi demain sera fait. * Et quel est selon vous l'apport scientifique essentiel? * Depuis des lustres, on croise des espèces entre elles et on sélectionne les meilleurs croisements. Aujourd'hui, on peut affiner ces manipulations et ne plus croiser sans savoir d'où vient l'amélioration. On isole un gène, on en cerne les propriétés et on les introduit dans un organisme vivant qui s'en trouve amélioré. Le progrès est de taille, qu'on parle de bactéries, de levures, de plantes ou même d'animaux. * Même si ces manipulations sont pratiquées par des firmes privées? * Quand on voit l'état délabré qui affecte la recherche scientifique publique dans la plupart des pays, dont le nôtre, on peut comprendre, même si on ne l'admet pas, que ces «boîtes» multinationales aient en vue le profit financier. Résultat: leur objectif premier est de commercialiser des semences transgéniques qui résistent à l'herbicide de la division d'à côté, avec un bénéfice maximal.

PRECAUTIONS MAXIMALES

* Vous dites ne pas admettre cette «récupération» privée de la science. Comment la réduire?

* Sans hésiter, je jette la pierre aux responsables politiques. En particulier au ministère belge de l'Agriculture qui, il y a douze ans au moins, a fait le lit d'une dérive pressentie. Il nous a interdit de poursuivre la commercialisation des semences que nous produisions et dont le bénéfice servait à financer nos recherches. Le prétexte: nous faisons concurrence déloyale aux firmes privées. Résultat, nous avons le choix entre deux écueils: arrêter la recherche ou nous «prostituer» auprès du privé, en faisant en sous-traitance le travail de recherche qu'il ne veut pas faire.

* Vous ne faites aucune différence entre la sélection génétique classique, telle qu'elle est pratiquée et affinée depuis des millénaires et les manipulations sur l'ADN même des organismes vivants?

* Non. Aucune. Avez-vous déjà essayé de comprendre en quoi consiste un accouplement humain sur le plan génétique? Chaque fois que vous procréez, vous réalisez un appariement complet de génomes (NDLR: «carte» des gènes d'un être vivant), parfois déséquilibré et dont naît de temps en temps un enfant trisomique ou leucémique. Heureusement, nous sommes très loin dans l'échelle de l'évolution et une grande partie des avatars invivables a subi une élimination naturelle au cours des générations. Quand on fait de la génétique expérimentale, on fait des choses dont on ne connaît pas l'issue. Qu'il faut bien sûr cantonner en laboratoire le temps de réaliser tous les contrôles nécessaires. Je suis pour les manipulations génétiques assorties d'un maximum de précautions et les critères contrôle et de sélection déjà fixés pour toutes les expérimentations scientifiques.

* Et le brevetage du vivant par des firmes privées ne préoccupe pas le scientifique?

• Il est exclu de breveter quelque chose que l'on n'a pas inventé. Mais si on invente quelque chose d'utile à partir de matériaux du vivant, il est normal d'être propriétaire de son invention. Pour autant bien sûr, que le génome des êtres vivants reste du domaine public. A ce moment, vous rentabilisez un investissement réalisé pour le bien de l'humanité. Un peu comme lorsque Bayer a breveté l'aspirine qui, au fond, ne fait que reprendre en les

dynamisant certaines propriétés du saule. Si tout le monde y a accès en l'achetant, quoi de plus légal?

Le prochain siècle sera génétiquement modifié

Selon les experts, les manipulations biotechnologiques apporteront le paradis du contrôle du vivant ou l'enfer écologique. Le prochain siècle sera biotechnologique, que l'on soit pour ou contre. L'affirmation est de Jeremy Rifkin, biologiste. Elle n'est pas démentie. Mais c'est la manière d'envisager cette percée des biotechnologies qui divise. Certains scientifiques parlent de risque de pollution bien plus grave que les pollutions chimiques et nucléaires. Il y a deux mois, ce même scientifique posait la question de la responsabilité: S'il arrive un accident, une contamination, qui sera responsable? Qui va payer? Aujourd'hui, les paysans français et suédois, obligés de raser leurs champs où, par mégarde, on a planté des semences contenant des organismes génétiquement modifiés (OGM) ont porté plainte contre X, sans savoir identifier X. Advanta Seeds, qui a commercialisé les semences, garantit qu'elle dédommagera les agriculteurs. Mais ne s'avoue pas responsable. Au contraire, d'autres scientifiques, dont le professeur Burny (lire par ailleurs), louent le progrès et délimitent les risques connus, qu'ils disent de dimension humaine. La firme AstraZeneca, dont un projet de recherche consiste à développer un riz doré transgénique enrichi en vitamine A, n'hésite pas à affirmer que des dizaines de milliers d'enfants aveugles seraient le tribut annuel pour tout moratoire sur cette seule semence. Entre la banalisation d'une avancée scientifique extraordinaire et la diabolisation de technologies porteuses d'espoir, l'espace pour un véritable débat de société se concentre sur quelques points essentiels. Le génie génétique. Est-ce une technologie prometteuse et maîtrisée? Les transferts artificiels de gènes permettent la transgression des barrières naturelles entre les espèces. Pourtant, les implications sur l'évolution de la biodiversité et les équilibres entre les espèces restent trop peu cernées.

Contrôle du vivant.

Les droits de propriété intellectuelle sur les OGM provoquent-ils le risque d'un contrôle du vivant par les industriels? L'enjeu concerne la commercialisation du vivant à travers les brevets: légèrement transformés, des organismes vivants multipliés à l'infini pourraient avoir le statut d'objets industriels. Même si le système de brevet sur les plantes et les animaux est régulièrement remis en question, plusieurs pays l'ont déjà inscrit dans leur législation. Cela accélère les concentrations de sociétés dans l'agro-biotechnologie. Celles-ci accroissent leur contrôle sur toute la chaîne alimentaire, depuis la semence jusqu'au produit fini.

Risques.

Pour les biologistes moléculaires et les sélectionneurs, les OGM ne sont pas des organismes fondamentalement nouveaux: les techniques utilisées ne sont que l'extension de techniques conventionnelles. Pourtant, de plus en plus de spécialistes affirment que des risques écologiques particuliers peuvent survenir quand ces techniques sont diffusées à l'échelle planétaire. Selon eux, les résultats des tests confinés en laboratoire ne peuvent être généralisés à la diversité des milieux où sera cultivée et transformée la variété transgénique commercialisée.

Information.

Le déficit d'information ne cesse de croître. Personne n'est capable de collecter l'information globale en temps réel. Le privé n'a aucun intérêt à rendre cette information transparente. Le public, lui, a peu de moyens de pression. Sauf dans la distribution où, depuis deux mois, les aliments qui contiennent plus de 1 % de composants transgéniques doivent être étiquetés comme tels. Mais l'information se limite à la mention minimale.

Les plantes changent de peau

Quelques exemples de végétaux transgéniques

RÉSISTANCES

- Riz résistant à la bactériose, maladie bactérienne dévastatrice en Afrique et en Asie
- Soja résistant au Roundup, un herbicide puissant produit par la même maison, Monsanto, ce qui permet à cette dernière de vendre aussi bien son oléagineux que la chimie qui le débarrasse des mauvaises herbes
- Maïs transgénique de Ciba doublement transformé pour résister à des insectes et à un herbicide
- La fameuse patate de la station de Changins, objet du seul essai en champ pratiqué en Suisse (1991-1992). Elle résiste aux attaques d'un virus baptisé PVY

PERFORMANCES

- La tomate Flavr Savr commercialisée depuis plus de deux ans par les Américains de Calgene dont on a bloqué le gène responsable de la production de l'enzyme qui mène au pourrissement. Une expérience similaire est tentée en France sur le melon
- Une rose bleue. C'est le produit inventé par les Australiens de Florigene qui ont implanté dans une rose le gène d'un pétunia qui code pour un pigment bleu
- Des chercheurs japonais cherchent à retirer du riz toutes ses propriétés allergènes

PRODUCTION

Les plantes vaccins. Un rêve qui devient déjà réalité dans les laboratoires. Des chercheurs américains ont réussi ce tour de passe-passe avec le virus de l'hépatite B

RISQUES

1) Dissémination du gène

Le gène peut-il se transmettre de la plante modifiée à des voisines sauvages? Des expériences ont prouvé que ce transfert était possible par le pollen. Ce risque de pollinisation existe surtout avec les plantes indigènes - et non avec un végétal comme le maïs, originaire d'Amérique centrale - qui peuvent posséder des espèces proches d'elles dans la nature, même si la descendance se révèle très souvent stérile.

2) Prolifération de la plante

Puisque l'on modifie génétiquement les végétaux, il est légitime de s'interroger sur leur capacité à prendre avantage de leur nouveau gène et battre les autres plantes sur leur propre terrain. De nombreux tests et évaluations sont menés avant, pendant et après l'essai en champ.

3) Menaces sur les insectes

Cela peut sembler paradoxal, mais les plantes transgéniques porteuses de résistances aux insectes doivent avoir des effets très circonscrits. En effet, il est de première priorité qu'elles évitent de porter préjudice aux insectes pollinisateurs comme les abeilles. Là encore, des tests toxicologiques sont entrepris avant de semer la plante en plein air.

4) Risques pour l'homme

Ils sont de deux ordres. Le premier, somme toute assez classique, concerne l'éventuelle portée allergène d'une modification génétique et reste assez facilement expérimentable. Le second, beaucoup plus flou parce que les expériences menées jusqu'ici n'ont rien trouvé, évoque la possibilité d'une transmission de certains gènes aux bactéries qui colonisent notre estomac. C'est notamment au nom de ce risque que l'Union européenne a demandé une nouvelle période d'évaluation avant d'autoriser la commercialisation du maïs transgénique de Ciba.

Du génie génétique dans l'intestin

On croyait jusqu'ici que l'ADN des organismes modifiés génétiquement ne survivait pas assez longtemps à la digestion pour contaminer l'organisme-hôte. Des chercheurs hollandais viennent de remettre cette idée en question.

Hollande

28/01/1999 - Une expérience menée par deux chercheurs hollandais démontre que l'ADN contenu dans les aliments résiste au moins six minutes à la digestion dans l'intestin. Ce surprenant résultat démontre que l'ADN des plantes modifiées génétiquement peut se transmettre à la flore intestinale. On croyait jusqu'ici que l'ADN se décomposait trop vite pour qu'une telle contamination soit possible.

L'expérience a été menée dans un intestin mécanique. On y a introduit des bactéries modifiées pour résister aux antibiotiques. Près d'une sur 10 millions a réussi à échanger son matériel génétique avec l'une des bactéries naturellement présentes dans l'intestin. Une infime proportion? Pas vraiment, puisque la flore bactérienne contient environ 100 milliards d'individus. Sur le nombre, les cas de transfert génétique sont donc assez nombreux.

Présentement, certains animaux de boucherie sont nourris avec des plantes transgéniques résistantes elles aussi aux antibiotiques, surtout aux États-Unis. On craint que cette pratique ne mène à la création de super_microbes qui pourraient éventuellement être transmis aux humains. L'expérience hollandaise n'est pas entièrement concluante à elle seule, mais elle donne des arguments de plus à ceux qui s'opposent aux manipulations génétiques.

Philippe Gauthier

pgauthier@cybersciences.com

Agriculture

Plantes transgéniques: L'homme joue-t-il à l'apprenti sorcier?

La culture des plantes transgéniques est-elle un progrès ou un énorme risque pour l'environnement ? Entre logique économique et logique environnementale, les pouvoirs publics (gouvernants et scientifiques) semblent avoir du mal à choisir.

Quelles sont les conséquences de l'introduction d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans la nature ? Quel est leur comportement dans les écosystèmes ? Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, aucune réponse consensuelle n'a été trouvée à ces questions. Pis, les pouvoirs publics donnent sur cet épineux dossier des plantes transgéniques l'impression de flotter entre laxisme et catastrophisme. Le 27 novembre 97, alors que les experts du comité de prévention et de précaution du ministère de l'Environnement venaient d'émettre un avis défavorable, Lionel Jospin autorisait la culture de maïs transgénique destiné à l'alimentation animale. Rappelons qu'un maïs transgénique est un maïs dans lequel on a introduit un gène qui lui permet de résister aux attaques d'insectes ravageurs et en particulier d'une chenille : la pyrale. En fait, le maïs produit son propre insecticide. Le transgénisme peut également être utilisé pour rendre une plante résistante à un désherbant total. Il suffit alors pour l'agriculteur de traiter son champ avec ce seul désherbant total pour se débarrasser des mauvaises herbes.

Biovigilance

La lutte génétique présenterait donc, nous dit-on, des avantages indéniables sur l'environnement. Le recours aux plantes modifiées génétiquement permettrait en effet de moins employer de produits phytosanitaires, et ainsi devrait diminuer la pollution du sol. Mais, inconvénient : rien ne nous garantit que le gène modificateur ne va pas se propager par le pollen à d'autres espèces sauvages avec des conséquences imprévisibles sur la nature et ses équilibres fragiles. Concernant le maïs, son innocuité a, semble-t-il, été démontrée. Il ne possède pas en effet de plantes parentes en Europe avec lesquelles il pourrait se croiser. Il va toutefois être placé sous surveillance dans le cadre d'un système de biovigilance afin de suivre les risques éventuels de développement des résistances dans les espèces végétales ou les organismes prédateurs qui l'environnent. Mais dans l'hypothèse où un problème est détecté, parviendra-t-on à l'enrayer à temps ?

Moratoire

De plus, si les scientifiques semblent confiants pour le maïs, il n'en est pas de même pour la betterave et le colza. Un colza transgénique pourrait par exemple se croiser avec la ravenelle qui deviendrait à son tour résistante, posant ainsi de redoutables problèmes environnementaux. Le risque écologique n'est donc pas à écarter... Face à cette situation plusieurs scientifiques de renom ont signé un manifeste demandant aux pouvoirs publics un moratoire de quelques années, le temps de mener des recherches complémentaires. Mais leur cri d'alarme n'a pas pesé lourd face aux intérêts économiques qui sont en jeu derrière le transgénisme. Les USA produisent déjà des plantes transgéniques. Si la France et l'Europe veulent garder leur place d'exportateurs agricoles et ne pas se laisser prendre de parts de marché par les Etats Unis, elles doivent elles aussi adopter, et vite, les nouveaux modes de culture. Ainsi va le monde en cette fin de siècle : un progrès (?) technologique chasse l'autre avant même qu'on ait eu le temps de le « digérer ». Qui a parlé d'apprenti sorcier ?

Salade de tomates transgéniques : A table !

Si vous voyez des tomates bien rouges, bien mûres et qui de surcroît se conservent bien plus longtemps ne cherchez plus leur secret : elles sont transgéniques. C'est-à-dire ? La tomate, arrivée à maturation, se ramollit naturellement par l'action d'une hormone, plus exactement de l'expression de certain gène. L'introduction d'un petit segment génétique particulier (Segment d'ADN (Acide DésosxyriboNucléique)) bloque et ralentit le processus de ramollissement du fruit. Modifier ainsi



son programme génétique permet une récolte plus tardive, un transport plus aisé et une conservation plus longue. Si la transgénèse végétale, c'est à dire l'introduction de gènes particuliers dans les plantes, a plusieurs objectifs (résistance à certains herbicides, à certains ravageurs...), la transgénèse de tomates et d'autres fruits, tels les melons et les pêches, a pour but d'accroître la qualité... Un bel enjeu économique pour les marchés de la consommation ! Mais la transgénèse végétale fait peur. Parce qu'elle touche à notre alimentation et parce que ses conséquences dans ce domaine sont méconnues. Ces tomates transgéniques sont-elles dangereuses pour notre organisme ? Et, question subsidiaire, leur étiquetage doit-il être obligatoire ? Professeur au collège de France et à l'Institut Pasteur, Philippe Kourilsky considère dans son ouvrage « la science en partage » que « le transfert de gènes aux cellules du consommateur paraît bien irréaliste » eu égard à l'infime partie du gène introduit dans le fruit. Plus radicalement, il est simplement dégradé lors de la digestion. Quant à la toxicité de l'aliment modifié, elle semble pour lui bien improbable. Pourtant, le sujet suscite des débats et des prises de positions divergentes. Rien d'étonnant à ce que nous soyons perplexes : si le Parlement européen a voté « le principe de la dangerosité du génie génétique » (directives de 1990), la Commission européenne, elle, a pris le contre-pied. Et Philippe Kourilsky de constater que si le public et les politiques étaient réellement informés, les débats actuels sur la dangerosité d'aliments modifiés n'auraient pas lieu, ou du moins n'auraient pas une telle ampleur.

Source : « La science en partage » de Philippe Kourilsky (Ed. Odile Jacob)

Pour en savoir plus: «Génie génétique: Rêves et cauchemars», E. Russo, D. Coe, PPUR, 1996