

## Revue générale

# Les OGM : une révolution technologique qui inquiète et qui passionne

## *GMOs: a technological revolution that disturbs and fascinates*

Jean-Pierre Anger<sup>1\*</sup>, Pascal Kintz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Rennes 1, 35043 Rennes Cedex, France

<sup>2</sup> Laboratoire CHEMTOX, 3 Rue Grüninger, 67400 Illkirch, France

**Résumé – Objectifs :** Avec le développement de l'agriculture et de l'élevage, l'homme a appris progressivement à sélectionner les végétaux et les animaux qui répondent au mieux à ses besoins en créant des variétés végétales et des races animales plus performantes. En agissant directement sur les gènes, il a pu élaborer ainsi des organismes génétiquement modifiés ou OGM comme les plantes résistantes aux insectes ravageurs, aux herbicides ou à la sécheresse. Mais comme toutes les innovations majeures, les OGM fascinent et inquiètent tout à la fois. **Méthodes :** Dans cet exposé nous définirons d'abord ce que l'on entend par OGM, puis après quelques rappels essentiels sur le génie génétique, nous présenterons les différents procédés de création des plantes OGM par transfert direct de gènes ou par transfection biologique. Nous évoquerons ensuite leur apparition progressive dans notre alimentation et la mise en place de leur réglementation au niveau de la Communauté européenne. Par leur puissance, leur souplesse et leur diversité, les OGM peuvent être un instrument important pour mettre en place une agriculture de qualité plus respectueuse de l'environnement et pourraient jouer à l'avenir un rôle majeur dans le domaine médical. Nous développerons alors les bénéfices potentiels qu'ils sont censés apporter à la santé et à l'environnement ainsi que les risques sanitaires et écologiques qu'ils peuvent présenter. **Résultats :** Depuis leur commercialisation progressive dans les années 90 où ils remportaient un vif succès auprès des agriculteurs américains, les OGM ne s'imposent pas aussi facilement en Europe. Bien qu'ils présentent des bénéfices potentiels pour la santé comme la diminution de l'utilisation des pesticides en milieu agricole, la mise au point d'aliments plus nutritifs ou encore, grâce à la moléculture, la production de molécules d'intérêt médical (insuline, facteur IX, vaccins, etc...), il n'en demeure pas moins que les opposants aux OGM évoquent des risques environnementaux comme la dispersion des gènes lors de la pollinisation ou la toxicité des plantes vis-à-vis des insectes et sur le plan de la santé publique des allergies possibles et un accroissement de la résistance aux antibiotiques. **Conclusion :** Divers arguments plaident en faveur de l'utilisation des OGM dans l'agriculture mais les risques sanitaires qu'ils présentent ne sont qu'en partie connus et c'est cela qui préoccupe tant les scientifiques que le grand public. À cela les Académies nationales de médecine et de pharmacie répondent « que les OGM ne présentent pas plus de risque toxique ou allergique que n'importe quelle nouvelle protéine ». D'ailleurs aucun effet nocif sur la santé humaine n'a été rapporté depuis leur utilisation. Le ministère de l'environnement en France s'est inspiré de cette conclusion et réclame cependant que désormais l'analyse d'un dossier de demande de commercialisation d'un OGM comporte entre autres un avis des toxicologues.

**Mots clés :** OGM – bénéfices – risques, santé et environnement

**Abstract – Objectives:** With the development of agriculture and livestock, humans have gradually learned to select the plants and animals that best match their needs by creating plant varieties and animal breeds more efficient. By acting directly on genes, it could well develop genetically modified organisms or GMOs as plants resistant to insect pests, herbicides or drought. But like all major innovations, GMOs fascinate and disturb simultaneously. **Methods:** In this paper we first define what is meant by GMOs, then after a few key reminders on genetic engineering, we present different methods of creating GM crops by direct transfer of genes or biological transfection. We will then appear progressively in our food and the establishment of their regulation at the European Community. Through their power, flexibility and diversity, GMOs can be an important tool for establishing a quality agriculture more environmentally friendly and could in future play a major role in the medical field. We then develop the potential benefits they are supposed to bring health and the environment and the health and environmental risks they may pose. **Results:** from progressive marketing in the 90s when they won a huge hit with American farmers, GMOs are not imposed as easily

\* Correspondance : Jean-Pierre Anger, [jean-pierre.anger@wanadoo.fr](mailto:jean-pierre.anger@wanadoo.fr)

in Europe. Although they have potential benefits for health such as reducing pesticide use in agriculture, the development of more nutritious foods or through the molecular culture, the production of molecules of medical interest (insulin, factor IX, vaccines, etc.), the fact remains that opponents of GMOs evoke environmental risk as the dispersion of genes during pollination or the toxicity of plants towards the insects and in terms of public health for possible allergies and increased resistance to antibiotics. **Conclusion:** Various arguments support the use of GMOs in agriculture but the health risks they present are only partially known and that is what concerns both the scientists and the general public. To this, the National Academies of Medicine and Pharmacy answer that "GMOs pose no greater risk of allergy or toxic than any new protein. Moreover, no adverse effects on human health has been reported from their use". The Ministry of the Environment in France was inspired by that conclusion and calls however, now analyzing a file application to market a GMO has among others, an opinion of toxicologists.

**Key words:** GMOs – benefits – risks, health and environment

Reçu le 4 février 2010, accepté après modifications le 5 mars 2010

Publication en ligne le 7 avril 2010

## 1 Introduction

Un organisme génétiquement modifié (OGM) est un organisme vivant (microorganisme végétal ou animal) dont le patrimoine génétique (génome) a été modifié artificiellement. Cette acception inclut toutes les voies possibles de modification, allant de la méthode de croisement ou de sélection dans l'espèce aux outils du génie génétique [1, 2]. Ces dernières techniques permettent de modifier des organismes par transgénèse, en insérant dans leur génome (ensemble des chromosomes du noyau cellulaire) un ou plusieurs nouveaux gènes provenant d'un organisme donneur. Par exemple si l'on introduit un gène de poisson dans la fraise, cette fraise devient un OGM ou encore si l'on introduit un gène de bactérie dans le maïs, ce maïs devient un OGM. Ces OGM particuliers s'appellent aussi des « organismes transgéniques » car les gènes étrangers qu'ils hébergent et qui proviennent de l'organisme donneur sont appelés des transgènes.

La mise en œuvre de la transgénèse par recombinaison de l'ADN (acide désoxyribonucléique), incorporation directe de matériel héréditaire ou fusion cellulaire, permet le transfert de gènes héréditaires d'une espèce à une autre. Ce procédé diffère de l'hybridation qui consiste en un croisement entre deux variétés, deux races d'une même espèce ou entre deux espèces différentes souvent stériles de plantes et d'animaux, que l'homme réalise depuis plusieurs millénaires. L'aspect « révolutionnaire » de ces nouvelles technologies ainsi que leurs applications potentielles, notamment dans les secteurs médical et agricole, ont engagé une réflexion éthique.

Au sein des biotechnologies, les OGM constituent un domaine de recherche qui fait depuis les années 90 l'objet de nombreux investissements tant en recherche qu'en développement à partir de financements aussi bien publics que privés. Inexistantes en 1993, les surfaces cultivées OGM (soja, maïs, coton...), n'ont cessé d'être en expansion et avoisinaient en 2007 les 120 millions d'hectares, soit 2,4 % des terres agricoles cultivées dans le monde [1]. Divers arguments plaident en faveur de leur utilisation en agriculture mais les risques sanitaires qu'ils présentent ne sont qu'en partie connus et c'est cela qui préoccupe tant les scientifiques que le grand public. Certaines organisations scientifiques internationales et notamment le Conseil international pour la Science, affirment que

les OGM commercialisés ne sont pas dangereux pour la santé humaine et que les risques de dissémination sont correctement contrôlés. Les partisans du mouvement anti-OGM estiment quant à eux que les précautions prises ne sont pas suffisantes et affirment que les cultures en pleins champs entraînent une pollution génétique.

L'objectif de ce travail est de rappeler les différents procédés de création des plantes OGM, d'évoquer leur apparition progressive dans notre alimentation, leur réglementation au niveau de la Communauté Européenne et enfin d'apprécier les arguments de chaque clan quant aux bénéfices potentiels pour la santé sur les plans alimentaire ou thérapeutique et aux risques qu'ils sont censés présenter aussi bien dans le domaine de la santé publique que dans celui de l'environnement.

## 2 Un peu d'histoire

Au début du vingtième siècle, la redécouverte des travaux de Mendel (1822–1888) et des travaux de Morgan (1866–1945) sur les drosophiles permettent de comprendre que l'hérédité est due à la transmission de particules appelées gènes disposés de manière linéaire sur les chromosomes du noyau cellulaire [1]. Dans les années 50, James Watson et Francis Crick découvrent la structure en double hélice de l'ADN : c'est une macromolécule complexe à double brin qui ressemble à une échelle en spirale dont les « cotés » sont constitués de sucres (désoxyribose) et de phosphates et les « barreaux » formés de bases azotées ou nucléotides. L'ADN est une macromolécule présente dans les cellules de tous les êtres vivants animaux ou végétaux. Lorsque les cellules se divisent cet ADN se reproduit à l'identique et toutes les cellules d'un individu contiennent donc le même ADN qui est spécifique à l'individu concerné, ce qui explique l'unicité des êtres vivants. L'ADN contient toute l'information nécessaire au bon fonctionnement de la cellule. Un gène est un fragment de chromosome (unité fonctionnelle) constitué d'un segment d'ADN conditionnant la transmission et la manifestation d'un caractère héréditaire déterminé (exemple : la synthèse d'une protéine donnée, la couleur des yeux, etc.).

En 1965, Paul Berg et ses collaborateurs découvrent les enzymes de restriction. Ces protéines capables de découper

l'ADN à des sites spécifiques donnent aux chercheurs les outils qui leur manquaient pour établir une cartographie séquentielle du génome. Cette découverte ouvre aussi la voie au développement du génie génétique en permettant la « manipulation » *in vitro* de portions précises d'ADN et donc de gènes. C'est la technologie de l'ADN recombinant qui permet l'insertion d'une portion d'ADN (un ou plusieurs gènes) dans un autre ADN [1].

Les premiers OGM furent des bactéries transgéniques. En 1977 le plasmide Ti de la bactérie du sol *Agrobacterium tumefaciens* est identifié. Ce plasmide sert à cette bactérie de vecteur pour transférer un fragment d'ADN, l'ADN-t (ADN de transfert) dans le génome d'une plante. Cet ADN comporte plusieurs gènes dont le produit est nécessaire à la bactérie au cours de son cycle infectieux. Quelques années plus tard cette bactérie sera utilisée pour créer les premières plantes transgéniques [3].

En 1978, un gène humain codant l'insuline est introduit dans la bactérie *Escherichia coli*, afin que cette dernière produise de l'insuline humaine.

En 1982, le premier animal génétiquement modifié est créé; il s'agit d'une souris géante à laquelle le gène de l'hormone de croissance du rat a été transféré. En 1983, le premier végétal génétiquement modifié est obtenu : un plant de tabac modifié pour résister à un antibiotique. 1985 voit la première plante transgénique résistante à un insecte : un tabac dans lequel un gène de la toxine de la bactérie *Bacillus thuringiensis* a été introduit [1].

### 3 Principes de base de la création et de la fabrication des organismes transgéniques

Comme nous l'avons déjà évoqué plus haut, tout organisme vivant, de la bactérie à l'homme en passant par les végétaux et les animaux possède dans sa ou ses cellules, une macromolécule d'ADN qui stocke l'information génétique nécessaire à son développement et au fonctionnement cellulaire.

L'ADN est constitué d'unités élémentaires appelées nucléotides. Ces nucléotides sont rangés dans un certain ordre à la manière des lettres de l'alphabet dans un texte. C'est cet ordre qui détermine l'information génétique. Le décryptage de l'enchaînement des nucléotides se fait grâce à un code, appelé code génétique. Ce code génétique est le même pour tous les organismes vivants, quelque soit sa complexité.

C'est cette universalité du code génétique qui permet à une cellule d'un organisme de lire et éventuellement de faire fonctionner une information génétique provenant de n'importe quel autre organisme.

Le génie génétique exploite de manière absolument révolutionnaire l'universalité du code génétique. Il vise à s'affranchir de la barrière des espèces et des voies naturelles de transfert d'ADN (reproduction sexuée, mutation génétique, infection virale notamment) pour insérer de manière artificielle un gène particulier d'une espèce à une autre espèce. Le génie génétique permet ainsi d'insérer dans le patrimoine génétique de la chèvre, le gène responsable chez l'araignée de la production de

soie, de façon à ce que le lait de chèvre contienne des protéines de soie qui vont aider à la reconstitution osseuse [2].

La transgénèse est ainsi l'opération de génie génétique la plus couramment utilisée pour l'obtention d'OGM : elle consiste à ajouter une petite portion d'ADN d'un organisme dans l'ADN d'un autre organisme. Le travail se déroule en plusieurs temps : il faut tout d'abord identifier un caractère que l'on veut introduire dans une plante comme, par exemple, la résistance à un insecte, à un herbicide ou à une maladie... Le gène recherché peut se trouver dans n'importe quel autre organisme vivant tel que plante, animal ou bactérie car le code génétique est universel. Quand le gène est identifié, il ne reste plus qu'à l'isoler de l'organisme « donneur », à le modifier éventuellement au laboratoire par génie génétique pour lui conférer des propriétés nouvelles et à l'intégrer dans la construction du « receveur ». Les modifications du gène peuvent ne pas concerner le message génétique lui-même mais les mécanismes qui contrôlent l'expression de ce message. L'opération consiste alors à changer le commutateur que l'on appelle le promoteur et qui détermine dans quel type de cellules le gène sera actif. Le promoteur du gène de l'albumine de rat peut ainsi permettre à un gène bactérien de s'exprimer spécifiquement dans le foie d'une souris transgénique. De multiples combinaisons de ce genre sont possibles et sont testées ou exploitées quotidiennement par les chercheurs et les industriels.

Une fois préparé, le gène doit être introduit dans une cellule qui est capable d'engendrer un organisme entier. Plusieurs procédés de transfert direct existent aujourd'hui pour les cellules végétales. L'électroporation est une des techniques les plus simples à mettre en œuvre. Elle consiste à soumettre à des chocs électriques, un mélange de protoplastes obtenus après digestion enzymatique de cellules végétales et un ADN étranger. (Un protoplaste est une cellule végétale dont la paroi a disparu. Le protoplaste en lui-même est limité par une membrane plasmique.) Le champ électrique provoque la déstabilisation de la membrane plasmique et conduit à l'ouverture des pores membranaires, facilitant ainsi le passage de l'ADN étranger dans le noyau. Le protoplaste se trouve donc à son tour génétiquement modifié et la cellule végétale se régénère ensuite spontanément en cellule végétale avec ADN intégré. Une seconde technique consiste à introduire directement le gène étranger dans le noyau de la cellule à modifier à l'aide d'une micropipette et sous microscope : c'est la micro-injection. Le nouveau gène s'intègre alors au génome de la cellule. Après l'injection, le protoplaste est libéré et mis en culture sur un milieu approprié. Enfin la biolistique ou balistique biologique est la méthode la plus courante. Elle consiste à propulser le transgène dans les cellules végétales grâce à un canon à gènes. On utilise des microbilles de métal enrobées d'ADN (billes d'or ou de tungstène de 1 µ) qui sont projetées à grande vitesse sur les cellules à transformer afin de traverser leur paroi. Ces billes seront progressivement freinées en traversant les différentes couches cellulaires. Quelques unes des cellules atteintes vont alors insérer spontanément les transgènes dans leur génome. Les gamètes (spermatozoïde et ovocyte) ne se prêtent que difficilement à ce jeu. Chez les animaux, les gènes sont donc le plus souvent introduits par micro-injection dans le noyau ou, à défaut, dans le cytoplasme de l'embryon d'un jour.

Les gènes s'intègrent avec une faible fréquence (de l'ordre de 1 % des cas) dans l'un des chromosomes. Le gène étranger peut alors être transmis à la descendance. Chez les plantes, on utilise souvent un vecteur naturel issu de la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* : c'est le transfert indirect ou transfection biologique. Après avoir isolé et préparé le plasmide bactérien, on y introduit le transgène à l'aide d'une enzyme de restriction et de la ligase. On obtient donc un plasmide génétiquement modifié contenant le gène d'intérêt. Ce plasmide est alors transféré dans une bactérie, généralement *E. coli*. Les bactéries transfèrent une partie de leurs plasmides lorsqu'elles sont mises en culture avec des cellules végétales qui donneront plus tard une nouvelle plante mature possédant un nouveau caractère. Mais cette bactérie ne peut infecter toutes les espèces et en particulier les céréales. Les cellules transformées sont alors sélectionnées puis cultivées dans des conditions qui les font redevenir des cellules embryonnaires. Chacune de ces cellules ainsi différenciée peut donner naissance à une plante clonée transgénique.

Une approche similaire a été plus récemment mise au point chez les animaux. C'est dans ce but qu'a été perfectionnée la technique qui a donné naissance à Dolly (1996) et à Marguerite (1998), les premières brebis et vache clonées à partir de cellules différenciées. L'opération est toutefois nettement plus complexe que chez les plantes. Une cellule animale différenciée ne redevient en effet pas aussi aisément un embryon. Il faut pour cela que le noyau de cette cellule soit introduit mécaniquement dans le cytoplasme d'un ovocyte expérimentalement énucléé. Un tel « pseudo-embryon » donne naissance, dans environ 1 % des cas, à un individu normal cloné. Lorsqu'un gène étranger a été préalablement intégré dans le génome de la cellule donneuse de noyau, l'animal cloné est en même temps transgénique. Cette méthode est plus simple malgré sa complexité que la micro-injection de gène, en tout cas, chez les ruminants.

Un autre type de modification génétique à l'échelle d'un organisme entier consiste à procéder très précisément à un remplacement de gène. Pour ce faire, une construction de gène contenant de longs fragments d'ADN identiques au gène cellulaire ciblé est tout d'abord préparée. Dans un petit nombre de cas, le gène construit reconnaît son homologue cellulaire et prend exactement sa place. Ce procédé permet de remplacer un gène actif normal par un autre inactif, ce qui revient à supprimer un gène chez l'animal. On peut également remplacer un gène actif par un allèle et procéder ainsi à une sélection parfaitement précise dont pratiquement tous les effets sont prévisibles. Ces modifications génétiques sont effectuées dans des cellules utilisées ultérieurement pour engendrer un organisme complet. La formation d'embryons chimères ou clonés est pour cela nécessaire. Le remplacement de gène par recombinaison homologue décrit ici est d'une pratique courante chez la souris et, plus récemment, chez les gros animaux. Elle n'est pas encore possible chez les plantes [1].

La transgénèse est utilisée aujourd'hui en aquaculture pour augmenter la vitesse de croissance des poissons (saumon) ; en alimentation pour la production par la vache GM de lait proche du lait maternel ou de lait réduit en lactose (pour les intolérants à ce sucre) ; dans le domaine médical, on travaille à la production de vaccins, au développement d'animaux GM (porc) dans

le cadre des xénogreffes (transplantation d'organes) ou encore en thérapie génique. Et dans ce domaine il y a eu beaucoup de promesses mais... pour l'instant, peu de résultats !

#### 4 Commercialisation progressive des OGM

1982 voit la première application commerciale du génie génétique : la fabrication d'insuline pour le traitement du diabète. L'insuline recombinante est aujourd'hui utilisée par des millions de diabétiques dans le monde [1]. En 1950, le premier produit alimentaire issu du génie génétique est commercialisé aux États-Unis et au Canada : il s'agit de la chymosine, enzyme permettant la digestion spécifique de la caséine utilisée dans l'industrie agroalimentaire en tant que substitut de la présure pour cailler le lait [1]. En 1993, l'hormone de croissance bovine recombinante (rbGH ou ST br) est autorisée à la commercialisation aux États-Unis par la Food and Drug Administration (FDA). Destinée à rendre les vaches laitières plus reproductives, cette hormone, autorisée aujourd'hui dans de nombreux pays est interdite dans l'Union Européenne et au Canada [4]. En août 2008, l'entreprise Monsanto, seule entreprise à commercialiser la STbr sous la marque déposée Posilac® annonce son retrait de la fabrication. Produites par des micro-organismes génétiquement modifiés, l'insuline, la chymosine ou l'hormone de croissance bovine, dites « recombinantes » ne sont pas elles mêmes des OGM.

1994 : la première plante génétiquement modifiée est commercialisée : il s'agit de la tomate *flavour savour*, conçue pour rester ferme plus longtemps une fois cueillie ; elle n'est plus commercialisée depuis 1996 car elle était selon certains, jugée fade et trop chère par les consommateurs [4]. Depuis, des dizaines de plantes génétiquement modifiées ont été commercialisées dans le monde et d'après l'OMS leur consommation n'a eu aucun effet sur la santé humaine [5].

Entre 1995 et 1996, la commercialisation aux États-Unis par l'entreprise Monsanto du soja « Roundup ready » résistant à l'herbicide Roundup, du maïs « yield gard », résistant à l'insecte foreur de la tige de maïs et du coton « Bollgard », est autorisée [6]. L'association Greenpeace lance une campagne internationale contre la commercialisation d'OGM dans le domaine de l'alimentation et contre leur dissémination dans l'environnement [6].

En 2000, l'Union Européenne (UE) fixe à 0,9 % le seuil d'OGM qu'un produit alimentaire peut contenir sans être tenu de le signaler sur l'étiquette [1].

Bien que la culture du maïs transgénique ait été autorisée en France jusqu'au 21 mars 2000, les producteurs ont décidé de ne pas en planter pour respecter le choix de leurs clients et des consommateurs. Les juges de la Cour de Justice de l'UE ayant son siège à Luxembourg en ont conclu que la France avait l'obligation d'autoriser la culture d'OGM sur son territoire sauf si elle pouvait apporter des informations prouvant que l'aliment présente un risque pour la santé humaine ou l'environnement. Ils ont étendu la durée d'autorisation de culture à 10 ans, alors que l'arrêté initial la limitait à 3 ans. Le Conseil d'État s'est incliné devant le droit communautaire. Le 14 décembre 2000, à Montpellier, Greenpeace et plusieurs centaines de personnes, avec José Bové, manifestent contre les OGM à l'occasion de la conférence de l'ONU qui leur était

consacrée. Le 13 mai 2003, le gouvernement américain porte plainte contre l'Organisation mondiale du commerce (OMC) pour forcer l'Union Européenne à lever son « moratoire de fait » sur la vente de semences et d'aliments génétiquement modifiés [6]. L'OMC autorise la restriction des importations dans le cas d'une « protection contre les risques pour l'innocuité des produits alimentaires et les risques découlant des espèces envahissantes provenant de végétaux génétiquement modifiés », mais ces conditions ne sont pas réunies, selon l'OMC, pour le différend opposant les pays producteurs (États-Unis, Canada, Argentine) à l'UE. Une chose est sûre : les OGM cultivés aujourd'hui sont limités à quatre plantes : soja, maïs, coton et colza. Elles sont concentrées à 88 % dans cinq pays : États-Unis (50 M ha en 2005) puis Argentine (17 M d'ha), Canada (10 M ha), Brésil (6 M ha) et Chine (3 M ha). Près de 80 % de ces OGM servent à nourrir le bétail. En Europe, début 2007, cinq pays cultivaient du maïs Mon 810 résistant aux herbicides (le seul OGM autorisé sur notre continent) : l'Espagne (60 000 ha), le Portugal, la France, la République tchèque et l'Allemagne. Mais ce dernier pays en a interdit la culture au mois de mai 2007 au titre de la protection de la nature et de l'environnement, de nouvelles études ayant montré un impact imprévu sur les papillons, les insectes prédateurs et les sols [7]. En 2009 l'Allemagne était rejointe par la France, la Grèce, l'Autriche, la Hongrie et le Luxembourg qui ont interdit le 19 juin 2009 la culture du maïs GM Monsanto Mon 810 [8].

## 5 Quelques mots sur le contrôle des OGM dans les aliments

La détection des OGM dans les aliments humains est une obligation réglementaire (directive européenne) depuis septembre 1998. Depuis avril 2004, la réglementation européenne impose également l'étiquetage des OGM présents dans les denrées alimentaires. La réglementation retient les protéines et ADN issus des OGM comme critère de détection. Plusieurs méthodes ont été validées pour l'extraction de l'ADN, la détection, l'identification, la caractérisation ou la quantification d'un OGM. Les protocoles retenus intègrent les techniques PCR (réaction de polymérisation en chaîne) et le test ELISA®. Il s'agit là de techniques classiques de biologie moléculaire qui ne seront pas décrites ici. Si l'échantillon est repéré comme positif, il convient de quantifier l'OGM. Deux cas se présentent alors :

- a) - l'OGM n'appartient pas à la liste des OGM autorisés en Europe [9] et son seuil dépasse la tolérance de 0,5 % : le produit ne peut donc pas être commercialisé ;
- b) - l'OGM présent est autorisé, il convient alors de le quantifier dans chacun des ingrédients pris individuellement.

## 6 Les applications de la transgénèse

La principale application de la transgénèse est de loin la recherche fondamentale. Un gène isolé est détaché de son contexte ; son transfert dans un nouvel organisme permet d'en étudier le fonctionnement et le rôle. La transgénèse, végétale comme animale, est pour cette raison de plus en plus mise en

œuvre par les biologistes et contribue ainsi à révéler la cartographie, le séquençage complet de divers génomes et la fonction des gènes identifiés. De même, la thérapie génique qui consiste à transférer du matériel génétique dans les cellules d'un malade pour corriger l'absence ou la déficience d'un ou de plusieurs gènes qui provoquent une maladie est l'un des grands défis actuels de la recherche clinique.

L'étude des maladies humaines et la mise au point de nouveaux médicaments reposent, pour une bonne part, sur l'utilisation des animaux de laboratoire. L'addition ou l'activation spécifiques de certains gènes permet d'obtenir chez ceux-ci des lignées d'animaux modèles de maladies humaines sur qui on peut tester de nouvelles molécules thérapeutiques. Le lait d'animaux mais également les feuilles ou les graines des plantes transgéniques peuvent être une source bon marché de protéines ayant des propriétés thérapeutiques. Ce procédé, qui s'industrialise, s'ajoute à ceux qui s'appuient sur les bactéries, les levures et les cellules animales en culture pour synthétiser des protéines couramment utilisées en médecine humaine (insuline, hormone de croissance, érythropoïétine, interféron, anticorps monoclonaux, etc.) : c'est ce qu'on nomme aujourd'hui la moléculaire ou culture moléculaire. Enfin toujours dans le domaine médical, des expériences encourageantes ont montré que les organes (rein et cœur) de porcs transgéniques fourniraient aux primates, et donc à l'Homme, des greffons moins rapidement rejetés que ceux provenant de porcs normaux utilisés dans les xénogreffes et pourraient peut-être un jour aider à résoudre le problème des transplantations d'organes chez l'homme [1].

Les applications agronomiques de la transgénèse sont potentiellement considérables. La transgénèse est de plus en plus mise en œuvre à grande échelle pour produire des plantes utilisées pour l'alimentation animale et humaine. Ces OGM ne représentent qu'une toute petite partie des organismes génétiquement modifiés par les biologistes mais les enjeux économiques deviennent considérables grâce aux propriétés qui leurs sont conférées : résistance aux maladies (qui sont responsables de la perte de 30 % des récoltes), résistance aux herbicides, amélioration des qualités nutritives et du goût, adaptation aux sols salés ou alcalins, résistance au froid ou à la sécheresse, détoxification des sols par captation de métaux lourds, production de molécules pour l'industrie pharmaceutique et chimique (huiles, détergents, carburants, fibres, etc. [1]).

## 7 Bénéfices potentiels apportés par les OGM pour la santé et pour l'environnement

En rendant certaines plantes entrant dans l'alimentation humaine comme le maïs et le soja tolérantes aux herbicides et/ou résistantes aux virus et aux insectes, l'utilisation des OGM permet de réduire les traitements chimiques des cultures et par là même les risques d'intoxication par les pesticides puisqu'il y aurait moins de résidus autant dans l'air que dans les aliments consommés.

Nous savons tous que certains acides gras sont bénéfiques pour notre santé notamment les acides gras insaturés qui nous protègent contre les maladies cardiaques. Des plantes oléagineuses comme le canola et le soja, ont été développées pour

produire des huiles à teneurs élevées en acides gras insaturés. Ces plantes, en raison de leur richesse en « bon gras » mais non encore commercialisées, pourraient vraisemblablement diminuer la fréquence des maladies du cœur.

Par transgénèse, il serait possible de modifier la valeur nutritive d'un aliment pour résoudre des problèmes de nutrition. Ces aliments seraient principalement destinés aux pays en voie de développement qui souffrent d'un manque en vitamine A ou en fer. Des chercheurs ont mis au point une variété de riz capable de fabriquer du  $\beta$ -carotène ou provitamine A. Reste à savoir si l'organisme humain sera capable d'assimiler le  $\beta$ -carotène présent dans le riz GM.

Des recherches sont actuellement en cours pour développer des arachides, du soja et du riz hypoallergéniques. Par transgénèse, il serait possible d'enlever les protéines allergènes qu'ils contiennent naturellement en bloquant l'action du gène responsable de la fabrication de la protéine ciblée.

Nous avons vu plus haut que la moléculature pourrait permettre de produire des molécules d'intérêt médical ou industriel. Il en est ainsi du facteur IX, une protéine intervenant dans la coagulation chez les hémophiles. La production de cette molécule par moléculature pourrait permettre de réduire le risque de transmission de maladies comme l'hépatite B et le SIDA. En plus d'être plus sécuritaire pour la santé, la moléculature serait moins coûteuse. Une autre possibilité est une nouvelle technique de production de vaccins qui serait moins coûteuse. En effet, le vaccin serait une plante transgénique comestible dotée d'un gène résistant à un microorganisme spécifique (type virus ou parasite). Le gène de ce microorganisme serait inséré dans le génome de certaines plantes comestibles. Notre organisme réagirait de la même façon qu'en recevant un vaccin par injection.

Sur le plan environnemental, la culture d'OGM résistant à un insecte permet de réduire l'apport de produits chimiques au champ puisque la plante peut se défendre elle-même contre l'insecte nuisible en produisant en quelque sorte, son propre insecticide. C'est ce qui se passe pour le maïs Mon 810 de la société Monsanto, résistant à la pyrale du maïs et à la sésamie. L'utilisation d'OGM aurait ainsi diminué, au niveau mondial, entre 1996 et 2004 de 14 % l'impact environnemental des pesticides. Mais ce n'est pas là la seule solution : la lutte biologique et intégrée utilisant des compétiteurs, des prédateurs et des parasites des ennemis des cultures ont également fait leurs preuves. Par ailleurs, les cultures tolérantes à un herbicide facilitent la lutte contre les mauvaises herbes. Les agriculteurs peuvent ainsi arroser tout leur champ avec un seul herbicide (celui que les végétaux GM tolèrent) pour tuer les mauvaises herbes sans nuire aux cultures. Le labour néfaste à la microbiologie des sols assure néanmoins la destruction des mauvaises herbes. La culture d'OGM favoriserait un travail minimum du sol. En effet, les cultures tolérantes aux herbicides rendent possible l'application d'herbicides directement sur les mauvaises herbes. Cela n'empêche pas la consommation de la plante qui sera contaminée par l'herbicide. De plus, le fait d'utiliser moins de pesticides dans les champs de cultures GM que dans les champs de culture traditionnelle entraîne une moindre contamination des eaux de drainage, de la chaîne alimentaire et finalement des mammifères. Tous ces arguments plaident en faveur de l'utilisation des OGM dans l'agriculture, mais pour

certaines les OGM apportent beaucoup moins de bénéfices que de risques à l'humanité [10].

## 8 Les impacts des OGM sur la santé et l'environnement

On ne connaît pas encore très bien l'impact à long terme des aliments avec OGM sur la santé puisqu'ils sont relativement nouveaux. Il est donc important d'effectuer des évaluations de leur sécurité avant de les commercialiser afin de prévoir les risques pour la santé et l'environnement car certains gènes employés dans les OGM peuvent ne jamais avoir été présents auparavant dans notre alimentation. Jusqu'alors aucune étude scientifique rigoureuse ne semble avoir démontré que la consommation d'aliments avec OGM comportait plus de dangers que la consommation d'aliments traditionnels. Et pourtant de nombreux risques potentiels sont évoqués :

- Le risque allergique lié à la présence du gène inséré : les réactions allergiques existent lorsque le système immunitaire réagit de façon anormale à l'absorption de substances allergènes. Les allergies alimentaires peuvent se manifester sous forme d'asthme ou d'une hypotension brutale. Les toxines et les allergènes sont des substances naturellement produites par les végétaux et certains animaux. Or, un aliment avec OGM pourrait contenir une plus grande quantité de toxines ou d'allergènes à la suite de réactions possibles de la plante suite à l'insertion d'un ou des gènes introduit(s) dans son génome.
- Le développement de la résistance aux antibiotiques : on utilise des gènes de résistance aux antibiotiques comme marqueurs dans le processus de création de plantes GM. Ces gènes font donc partie du génome de l'OGM. La protéine codée a entre autres la propriété d'augmenter la capacité de résistance des plantes aux antibiotiques. Cette propriété pourrait contribuer au développement dans la nature de nouvelles souches de bactéries résistantes aux antibiotiques. Il s'agit là d'un problème alarmant en médecine, amplifié par la surprescription des antibiotiques et leur utilisation dans l'alimentation des animaux d'élevage comme promoteurs de croissance. On redoute en effet que les plantes transgéniques n'aggravent ce phénomène.
- La diminution de la valeur nutritive de certains aliments : la plante, lors de l'insertion du gène étranger pourrait générer la synthèse de composés nouveaux qui pourraient nuire à l'assimilation des éléments nutritifs présents dans la plante et faire diminuer la teneur des substances nutritives elles-mêmes.
- Les risques liés à la consommation de produits dérivés d'animaux nourris aux OGM : depuis quelques années, on donne aux animaux de la ferme des grains GM (comme le maïs ou le soja). Des études ont été menées pour savoir si cela présentait des risques pour la santé des animaux ainsi que des risques pour la santé des êtres humains qui consomment la viande de ces animaux ou leurs produits dérivés (lait, œufs). Après plusieurs études, les autorités en matière de sécurité alimentaire sont arrivées à trois conclusions. Premièrement, les animaux peuvent avoir consommé des grains GM et vivre en parfaite santé.

Deuxièmement, les produits d'origine animale provenant des animaux qui mangent des grains GM sont équivalents aux produits d'origine animale provenant des animaux qui ont une alimentation traditionnelle. Troisièmement, les produits d'origine animale provenant des animaux qui mangent des grains GM sont considérés comme sains pour les humains [11].

- e) Les risques imprévisibles associés à la consommation d'aliments avec OGM : ces risques ne sont pas toujours prévisibles. En effet, la plante pourrait réagir à l'insertion du gène et à la production de la protéine, mais ces risques seront peut-être reconnus dans les essais à très long terme [12].

En ce qui concerne l'environnement, trois risques potentiels ont été répertoriés :

- a) La toxicité pour les insectes : les plantes GM peuvent libérer, en quelque sorte, leur propre insecticide. En effet, ces plantes sont capables de produire dans leurs tissus des toxines pour se défendre contre certains insectes nuisibles comme la pyrale du maïs qui détruit les plants de maïs en forant les tiges. La toxine se retrouve donc dans toutes les parties de la plante (dont les racines, le feuillage et le pollen). Les scientifiques se posent des questions sur les risques que courent les insectes non nuisibles à la plante GM. Par exemple, les insectes risquent-ils d'être affectés par la toxine lorsqu'ils butinent le pollen de ces plantes transgéniques ? Pour le moment, il semble que non mais une étude récente montre que le pollen du maïs transgénique est nuisible au papillon Monarque [13]. Les substances libérées par ces plantes transgéniques seraient spécifiques à certains insectes et ne mettraient pas en danger la vie des autres organismes. Aussi chaque cas doit être évalué séparément. Des études sont actuellement en cours à ce sujet.
- b) La survenue d'insectes et des mauvaises herbes résistants : l'utilisation croissante et continue des mêmes insecticides ou herbicides pourrait développer une population d'insectes ou de mauvaises herbes résistants. En effet, certains individus ou plantes peuvent être dotés du gène qui, par hasard, leur procure une résistance à l'insecticide ou à l'herbicide utilisé par l'agriculteur. Lors de l'épandage du produit, ces individus ou mauvaises herbes survivent et se multiplient, ce qui favorise l'apparition de populations résistantes et compromet donc l'efficacité de ces insecticides ou herbicides.
- c) La dispersion des gènes : lors de la pollinisation, les plantes GM peuvent échanger leurs gènes avec des espèces domestiquées ou avec des espèces sauvages sexuellement apparentées. La nouvelle génération de ces plantes peut présenter certains caractères désirés comme la résistance à un herbicide. Le colza transgénique confère sa résistance à certains herbicides à d'autres crucifères adventices des cultures

## 9 Alors que penser de tout cela ?

Les organismes génétiquement modifiés, issus de la recherche en génie génétique se retrouvent de plus en plus dans

nos aliments de tous les jours, sans même le savoir. L'élevage européen en devient de plus en plus dépendant et il ne reste guère d'autre alternative aux éleveurs que de nourrir leur bétail avec ces OGM qui restent cependant interdits en France dans les filières de production labellisées.

Finalement divers arguments plaident en faveur de l'utilisation des OGM dans l'agriculture mais les risques sanitaires et écologiques qu'ils présentent ne sont qu'en partie connus et c'est cela qui préoccupe autant les scientifiques que le grand public. Côté santé, ils pourraient provoquer des allergies et une résistance aux antibiotiques. Dans la nature, les parasites pourraient devenir des mutants s'adaptant aux plantes OGM censées leur résister et aboutir à une rupture des équilibres écologiques dont on n'évalue pas encore les conséquences à long terme. À tout cela, les Académies nationales de Médecine et de Pharmacie répondent « que les OGM, qui améliorent les productions agricoles en quantité, contribuent aussi à améliorer la qualité de l'alimentation sans présenter de risques pour la santé qui ne soient parfaitement contrôlables ; les OGM ne présentent pas plus de risques toxiques ou allergiques que n'importe quelle nouvelle protéine. La règle doit être celle de l'analyse au cas par cas ; les OGM sont consommés quotidiennement depuis de nombreuses années dans le monde sans qu'aucun effet nocif sur la santé n'ait été rapporté » du moins jusqu'à présent [14].

Les Académies nationales de médecine et de pharmacie recommandent donc la création d'une structure de coordination scientifique et économique pour le développement et l'emploi des OGM. Elles expriment en particulier leur souhait que les dispositions législatives et réglementaires de l'Union européenne soient revues dans un sens moins restrictif. En vertu du principe de précaution, si cher à la France et tenant compte des arguments des opposants à l'utilisation des OGM, le ministre de l'Environnement, Jean-Louis Borloo, qui a obtenu l'accord de ses partenaires européens pour une remise à plat des procédures d'homologation des OGM dans l'Union Européenne, a décidé lors du dernier Grenelle de l'environnement que désormais l'autorisation de mise sur le marché des OGM produisant des molécules insecticides ou capables de résister à des herbicides comportera un avis des toxicologues, des spécialistes de la biodiversité, un examen des risques d'appauvrissement des sols, des possibilités de cohabitation avec d'autres cultures et des coûts.

## 10 Conclusion

Depuis une dizaine d'années, les arguments des anti OGM ont commencé à se faire entendre et en matière d'OGM, politique et science font rarement bon ménage ! Aujourd'hui, en France comme en Europe, on est dans la plus grande confusion sur les plans de la réglementation et de l'autorisation des cultures de plantes GM. D'un côté il semble y avoir des institutions officielles (Académies, AFSSA, EAFS) qui, s'appuyant sur des travaux scientifiques, soutiennent que les OGM sont sans danger particulier pour l'homme et de l'autre côté, des organisations plutôt écologiques qui réfutent ces données scientifiques et mettent en garde contre des effets non encore soupçonnés qui risquent de mettre en péril notre santé et notre environnement. Il y aurait sûrement moins de controverses et

le débat serait plus constructif si les applications des OGM étaient évaluées de façon exhaustive et transparente avec une réglementation identique à celle de l'homologation des produits phytosanitaires, par exemple et si leurs répercussions éventuelles sur l'environnement étaient prises en considération.

Le 6 juin 2008, la France a obtenu l'accord de ses partenaires européens pour une remise à plat des procédures d'homologation des OGM dans l'UE en prenant plus en compte les risques. Une nouvelle loi devrait être votée en France avant juin 2010 où désormais il sera demandé, entre autres, l'avis des toxicologues. Alors restons vigilants et mobilisés !

## Références

1. [http://fr.wikipedia.org/wiki/organisme génétiquement modifié](http://fr.wikipedia.org/wiki/organisme_g%C3%A9n%C3%A9tiquement_modifi%C3%A9). Document consulté le 26 août 2009.
2. Velot C. OGM : tout s'explique. Athée, Fr. : Goutte de sable, 2009.
3. <http://www.cirad.fr/dossier/ogm/enjeux.html>. Document consulté le 29 août 2009.
4. [http://www.ogm.gouv.qc.ca/info\\_historique.html](http://www.ogm.gouv.qc.ca/info_historique.html). Document consulté le 29 août 2009.
5. [www.who.int/entity/foodsafety/publications/biotech/en/20questions\\_fr.pdf](http://www.who.int/entity/foodsafety/publications/biotech/en/20questions_fr.pdf). Document consulté le 29 août 2009.
6. [http://monsanto.com/monsanto/ag\\_products/input\\_traits/products/yieldgard\\_rootworm.asp](http://monsanto.com/monsanto/ag_products/input_traits/products/yieldgard_rootworm.asp). Document consulté le 29 août 2009.
7. [http://www.savoirs.essonne.fr/dossiers.la\\_vie/biologie-genetique/ogm-finalement-quels-risques](http://www.savoirs.essonne.fr/dossiers.la_vie/biologie-genetique/ogm-finalement-quels-risques). Document consulté le 31 août 2009.
8. <http://www.e24.fr/entreprises/agroalimentaire/article102450.ece/Rejet-des-OGM-en-Europe.html>. Document consulté le 06 septembre 2009.
9. [http://gmoinfo.jrc.ec.europa.eu/gmc\\_browse.aspx](http://gmoinfo.jrc.ec.europa.eu/gmc_browse.aspx). Document consulté le 27 février 2010.
10. <http://www.chimie-sup.fr/OGM.htm>. Document consulté le 31 août 2009.
11. <http://membres.lycos.fr/ogmland/risques02.html>. Document consulté le 31 août 2009.
12. <http://www.buddhachannel.tv/portail/spip.php?article241>. Document consulté le 31 août 2009.
13. <http://www.fao.org/french/newsroom/focus/2003/gmo7.htm>. Document consulté le 31 août 2009.
14. <http://www.lavoisier.fr/notice/fr2743006190.html>. Document consulté le 31 août 2009.