

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 DE GUELMA
FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIERIE
DEPRATEMENT DE BIOLOGIE



MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Spécialité : Biochimie microbiologie appliquée
Option: Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Thème : ORGANISME GENETQUEMENT MODIFIE :
QUELS RISQUES POUR LE CONSOMMATEUR ?

Présenté par :

BAHLOUL Imad-eddine
KRAIMIA Soufian

Membres de jury :

Présidente: Dr. SOUIKI Lynda (M.C B Université de Guelma)
Examineur ; Mr. MERZOUG Abdelghani (M.A B Université de Guelma)
Encadreur : Mr. DJEKOUN Mohamed (M.A A Université de Guelma)

Juin /2010

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu le tout puissant ; pour nous avoir aidé à achever ce travail et nous permettre ici d'exprimer notre gratitude la plus sincère à tous ce qui ont ménagé leur efforts pour nous apporter une aide fructueuse pour réaliser ce mémoire.

*Nous tenons à remercier vivement monsieur DJEKOUN **Mohamed** pour son soutien continuel et sa patience en cours de la réalisation de ce travail.*

De nous avoir honoré de sa présence et d'avoir accepté de présider le jury.

*Dr SOUIKI **Lynda***

Nos remerciements vont également à la commission d'examen :

*Mr **MERZOUG Abdelghani***

Nous remercions tous les enseignants, et tous ceux qui nous ont aidé de près et de loin dans la réalisation de ce travail. Et aussi sans oublier

Nous remercions toutes les personnes que nous avons rencontrées durant notre parcours, spécialement la promotion de master Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire.

MERCI

IMAD et SOUFIAN

Sommaire

Liste des figures.....	
Liste des abréviations.....	
Introduction.....	01
Historiques.....	03
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES O.G.M	
1. Définition d'un organisme génétiquement modifié (O.G.M).....	05
1.1. Organisme.....	05
1.2. Transgénèse.....	06
1.3. Génie génétique.....	07
1.3.1. Le gène.....	07
1.3.2. Le génome.....	07
1.4. Organisme transgénique.....	07
2. Les techniques de la fabrication d'un Organisme génétiquement modifié.....	08
2.1. Techniques de transfert direct.....	08
2.1.1. L'électroporation.....	08
2.1.2. La micro-injection.....	09
2.1.3. La biolistique.....	09
2.2. Techniques de transfert indirect.....	10
2.2.1 La transfection biologique.....	10
2.2.2. La lipotransfection.....	12
3. Les principaux gènes utilisés dans la fabrication des OGM.....	12
3.1. Le gène de résistance aux insectes (ou aux ravageurs).....	12
3.2. Le gène de tolérance aux herbicides.....	12
3.3. Le gène de tolérance à la sécheresse et au froid.....	12
3.4. Le gène de stérilité mâle.....	13
3.5. Le gène inhibiteur d'autres gènes.....	13
3.6. Les gènes de résistance naturels.....	13
CHAPITRE II : LES APPLICATIONS ET LA DÉTECTION DES O.G.M	
1. Les applications des OGM.....	15
1.1. L'agronomie.....	15
1.1.1. La résistance à des insectes.....	15

1.1.2. La résistance à des maladies.....	16
1.1.3. La résistance à des herbicides.....	16
1.2. L'alimentation.....	17
1.2.1. Amélioration de la qualité des aliments	17
1.2.2. L'amélioration de la nutrition animale.....	18
1.2.3. La maturation des fruits	18
1.2.4. La transformation agro-alimentaire.....	18
1.3. L'industrie.....	19
1.3.1. Les pâtes à papier.....	19
1.3.2. Les huiles industrielles.....	20
1.3.3. Les colorants	20
1.4. La santé.....	20
1.4.1 La production d'insuline	20
1.4.2. La production de vaccins.....	21
1.4.3. Les produits sanguins	21
1.4.4. Production de collagène humain	21
1.4.5. Les protéines humaines	22
1.4.6. La production de lipase gastrique à partir de maïs transgénique	22
1.4.7. La production de vitamine A	22
1.5. L'environnement	23
1.5.1. Des herbicides au profil écotoxicologique favorable	23
1.5.2. La réduction de l'utilisation des insecticides	23
1.5.3. La diminution de l'érosion des sols	23
1.5.4. Résistance aux conditions climatiques extrêmes.....	24
1.5.5. L'enrichissement du patrimoine végétal	24
2. La détection des OGM	25
2.1. Test d'ELISA	25
2.2. La réaction de polymérisation en chaîne	26
3. Les O.G.M dans le monde	28
3.1. Les O.G.M vus par les Etats-Unis	29
3.2. Les O.G.M vus par l'Europe.....	29
3.3. Les O.G.M en Inde.....	30
3.4. Les O.G.M. en Afrique	30
3.5. Les O.G.M. en Algérie	30

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure.1.cellule bactérienne.....	06
Figure.2.cellule végétale et animale.....	06
Figure.3.le gène.....	07
Figure.4. la technique de L'électroporation.....	08
Figure.5. technique d'une micro-injection.....	09
Figure.6.la technique de la biolistique.....	10
Figure.7. la conjugaison.....	11
Figure.8. Les différentes étapes de la transfection biologique.....	11

CHAPITRE II

Figure.9. Des plantes résistant à des insectes.....	15
Figure.10. Quelques maladies des plantes.....	16
Figure.11. Champs transgéniques résistant à des herbicides.....	17
Figure.12. Des aliments génétiquement modifiés.....	17
Figure.13. Fruits génétiquement modifiés.....	18
Figure.14. pâtes à papier à base d'O.G.M.....	19
Figure.15. Insulines préparé a base d'une bactérie transgénique.....	20
Figure.16. Cultures des soja transgénique pour bute de diminué l'érosion des sols.....	24
Figure.17. Plantes transgéniques résistants aux conditions extrêmes.....	24
Figure.18. Des microplaques utilisé sur la technique de l'ELISA.....	26
Figure.19. Les étapes de la PCR.....	28
Figure.20. Production d'O.G.M dans le monde.....	32

CHAPITRE III

Figure.21. Le pyrale résistante à une plante transgénique.....	35
Figure.22. La nourriture d'un monarque sur une plante transgénique.....	36
Figure.23. La nourriture d'abeille sur une plante transgénique.....	36
Figure.24. Le risque de contamination d'autres cultures agricoles.....	37
Figure.25. La comparaison entre un saumon naturelle et un saumon transgénique.....	38

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

AGM : Aliments génétiquement Modifiés.

AOC : appellations d'origine contrôlée.

ARNt : l'acide ribonucléique de transfert.

Bt : Bacillus thuringiensis.

EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments (European Food Safety Authority).

FCI-I : facteur de croissance insulinoïde I

GMA : Grocery Manufacturers Association.

HC : hormone de croissance.

INRA : l'Institut national de la recherche agronomique.

ISAAA : International service for the Acquisition of AgriBiotech Application.

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques.

OGM : Organisme Génétiquement Modifié.

PCR : réaction de polymérisation en chaîne.

PEPc : Phosphoénolpyruvate carboxylase.

PVD : Pays en voie de développement.

UE : l'Union européenne.

UV : ultra violetes

Produced with ScanTOPDF

INTRODUCTION

Produced with ScanTopDF

INTRODUCTION

Considéré comme un droit fondamental de l'homme, le droit à l'alimentation ou à la nourriture jouit d'une certaine préséance et d'un certain prestige tant il fait l'objet d'une importante consécration juridique au plan international et au plan interne des Etats.

Depuis les années soixante dix, les préoccupations de l'humanité en matière d'alimentation se sont accrues, favorisant ainsi l'émergence du concept nouveau de sécurité alimentaire. La sécurité alimentaire en tant que concept englobant, commande d'assurer l'accès à une alimentation suffisante, saine et de qualité.

C'est dans ce contexte sur fond de crise que les biotechnologies modernes notamment les Organismes Génétiquement Modifiés ou OGM font leur irruption dans le débat public. Pourtant, le rapport des OGM à la sécurité alimentaire de façon spécifique et aux droits de l'homme en général n'est pas du tout aisé à définir. C'est la raison pour laquelle cette technologie nouvelle se trouve au cœur d'une controverse qu'on pourrait qualifier d'épique.

L'intérêt social du sujet réside dans son actualité. En effet alors que des populations dans certaines régions du monde notamment les pays en développement souffrent d'un accès difficile à la nourriture, le risque d'intoxication alimentaire n'a jamais paru aussi élevé dans les pays développés. Encéphalopathie Spongiforme bovine (ESB) communément appelée maladie de la « vache folle », maladie de Creutzfeldt Jakob, forme humaine de la « vache folle », fièvre aphteuse, et aujourd'hui grippe aviaire. Toutes ces maladies liées à l'alimentation nous invitent à nous intéresser de plus près à la question du rapport OGM / sécurité alimentaire. Ces inquiétudes sont d'autant plus justifiées qu'elles dessinent en filigrane les droits des consommateurs.

D'un point de vue scientifique et académique, le présent travail est une modeste contribution à la matière des droits de l'homme considérée comme la fondation de notre humanité. La richesse du débat réside dans le fait que le sujet rapproche deux notions qui sont a priori inconciliables. A y regarder de près les OGM et les droits de l'homme se disputent un même terrain de prédilection, celui de l'interdisciplinarité.

Les enjeux des OGM regardent la société en différents aspects : enjeux scientifiques, alimentaires et sanitaires, enjeux écologiques ou environnementaux, enjeux politiques et économiques, enjeux éthiques, philosophiques et religieux. Le sujet fonde ainsi dans un même moule deux notions qui atteignent l'homme dans sa double dimension, corps et esprit.

Cette situation montre bien pourquoi le débat sur les OGM a déclenché autant de passions dans le cercle des universitaires, des intellectuels, des spécialistes et autres écrivains qui n'ont pas renoncé à leur droit naturel d'écrire. L'abondante littérature qui s'est construite autour de la question sensible des OGM est en fait à la mesure de tout l'intérêt qu'on accorde à cette technologie, véritable phénomène de société.

En règle générale, l'organisme en question est modifié en vue d'avoir des qualités plus intéressantes, mais on n'est pas sûr des effets à long terme sur l'organisme. Théoriquement, un O.G.M subit un grand nombre de tests avant de pouvoir être converti en aliment, mais les tests nous donnent seulement les résultats sur quelques années, voilà le plus grand problème lié à la production des aliments à base d'O.G.M. Le débat essaie alors de faire une balance simple entre les avantages et les inconvénients des O.G.M.

Les O.G.M constituent de nos jours un sujet d'actualité en pleine évolution chez la population algérienne. Les O.G.M sont malheureusement presque ignorés alors que l'Algérie représente un pays le plus caractérisé par un marché ouvert dans le monde ce qui la rend la plus menacée par les produits alimentaires importés. Dans ce présent travail nous avons entrepris une recherche bibliographique qui a pour objectif d'informer ce que sont les O.G.M et de rassembler toutes les données sur les inconvénients et les risques que peuvent apporter les O.G.M.

Ce mémoire est destiné à acquérir une meilleure connaissance de l'impact des O.G.M sur la santé et par conséquent de bien connaître le principe de précaution pour que le consommateur ne soit pas exposé à des doses pouvant entraîner une certaine probabilité d'effets indésirables.

Pour cela, nous avons structuré ce travail en trois chapitres :

- Le premier est consacré à donner des idées générales sur les O.G.M et leur technique de fabrication.
- Au deuxième chapitre nous présentons les applications des OGM, la détection et leur surface cultivée dans le monde.
- Le troisième chapitre, constitue l'essentiel de ce mémoire, nous aborderons les différents risques liés à l'utilisation des OGM.

HISTORIQUE

Les organismes génétiquement modifiés (O.G.M) relèvent d'une discipline de la biologie que l'on appelle le "génie génétique", elle-même faisant partie intégrante des biotechnologies. La première manifestation d'O.G.M peut être assimilée à l'acte de naissance du génie génétique.

Depuis la découverte de l'ADN comme support de l'information génétique par Avery, Macleod et Mac Carthy en 1944, des travaux ont été réalisés successivement durant les années suivantes qui permettant enfin la manipulation d'ADN *in vitro*.

Le génie génétique est né au début des soixante-dix, Paul Berg a présenté en 1972 les premiers travaux de clonage au cours desquels il utilisa la première enzyme de restriction extraite d'*Escherichia coli* pour fabriquer le premier plasmide vecteur. La décennie 1970/1980 fut une période particulièrement fertile pour la "biologie moléculaire", car il y a eu un développement extraordinaire des enzymes de restriction.

En 1976 une société de biotechnologie aux USA proposait la production de somatostatine humaine par une bactérie génétiquement modifiée. Cependant l'évolution de la biotechnologie a été plus remarquable dans les années quatre-vingt grâce à la découverte de plusieurs outils en génie génétique comme la réaction de polymérisation en chaîne (PCR) et la technique de transfert direct d'ADN "biolistique" en 1987.

L'histoire de la transgénèse végétale a débuté en 1968 grâce aux travaux de Georges Morel et ses collaborateurs qui ont démontrés que la maladie du crown gall (galle de collet) était à cause d'une souche de bactérie *Agrobacterium*. En 1974, Jeff Schell et Marc Van Montagu ont montré que cette transformation naturelle des cellules végétales était à cause du plasmide d'*Agrobacterium*. Les premières plantes génétiquement modifiées apparurent en 1983.

Ainsi, les premières expériences de transgénèse chez les animaux ont eu lieu dans la période 1980/1982. C'est en 1982 que R.D.Plamiter et R.L.Brinster ont obtenu le premier animal transgénique : une souris qui produisait l'hormone de croissance à partir du gène codant cette hormone du rat. La souris modifiée est devenue géante.

L'évolution d'O.G.M concernant les plantes et les animaux dans les différentes années est représentée ci-dessous :

Les plantes transgéniques :

1985 : Première plante transgénique résistante à un insecte.

1987 : Première plante transgénique tolérante à un herbicide total.

1988 : Première céréale transgénique (maïs résistant à la kanamycine).

1990 : Première commercialisation d'une plante transgénique (chine : tabac résistant à un virus).

1994 : Première légume transgénique commercialisé (tomate Flavr savr à maturation retardée).

1997 : Première tabac producteur d'hémoglobine.

2006 : 102 millions d'hectares des plantes transgéniques cultivées dans le monde.

Les Animaux transgéniques :

1985 : Première démonstration que la transgénèse peut être utilisée chez d'autres mammifères que la souris.

1986 : Naissance des premiers poissons transgéniques et premier remplacement de gène chez la souris.

1987 : première production expérimentale de protéine thérapeutique dans le lait.

1989 : Naissance des premiers poulets transgéniques.

1991 : Naissance de la première vache transgénique.

1997 : Obtention des premiers animaux transgéniques via la technique du clonage.

1999 : Premier remplacement des gènes via le clonage.

2002 : Mise au point des vecteurs lentiviraux pour obtenir des animaux transgéniques.

2005 : Naissance des premiers poulets transgéniques via l'utilisation des cellules pluripotentes et de chimères embryonnaires (Ayed et Bendjemil, 2008).

CHAPITRE I

Généralité sur les OGM

Produced with Scantopdf

1. Définition d'un organisme génétiquement modifié (O.G.M) :

O.G.M est un organisme dont le matériel génétique a été modifié d'une manière que ne s'effectue pas naturellement par multiplication et /ou par recombinaison naturelle.

Le terme O.G.M recouvre aussi bien les micro-organismes (virus, bactérie, champignons), que les animaux et les plantes, sont donc considérés comme génétiquement modifiés (GM) les organismes dont un ou plusieurs gènes (dits alors transgènes) proviennent de patrimoines génétiques d'origines diverses : ces transgènes ont été isolés, amplifiés, étudiés, choisis, et enfin assemblés en laboratoire avant d'être introduits dans le génome d'une cellule, la quelle par ces division successive, conduit à un nouvel organisme dit O.G.M.

En obtiendra ainsi des micro-organismes GM, lignées d'animaux GM ou des plantes GM. (Bouchet *et al.*, 2005).

1.1. Organisme :

Toute entité biologique non cellulaire, cellulaire ou multicellulaire capable de se reproduire, de s'amplifier ou de transférer du matériel génétique. Cette définition englobe notamment les micro-organismes, y compris les virus et doit être étendue aux viroïdes, aux agents transmissibles non conventionnels ainsi qu'aux cultures de cellules végétales et animales (Ayed et Bendjemil, 2008).

Les organismes vivants sont formés d'une ou plusieurs cellules. La cellule est la plus petite entité vivante. Chaque cellule est constituée de deux parties principales : le cytoplasme et le noyau. Ce dernier contient l'acide désoxyribonucléique (ADN), molécule comprenant le matériel génétique d'un organisme vivant [5].

Les organismes unicellulaires, généralement microscopiques, sont composés d'une seule cellule, tandis que les organismes pluricellulaires (métazoaires) sont faits de nombreuses cellules.

On peut opposer deux grands types de cellules en terme de taille et l'organisation interne.

La cellule procaryote (bactéries) qui ont une structure très simple (voir fig.1.).

La cellule eucaryote (animale et végétale) (voir fig.2.) (Ayed et Bendjemil, 2008).

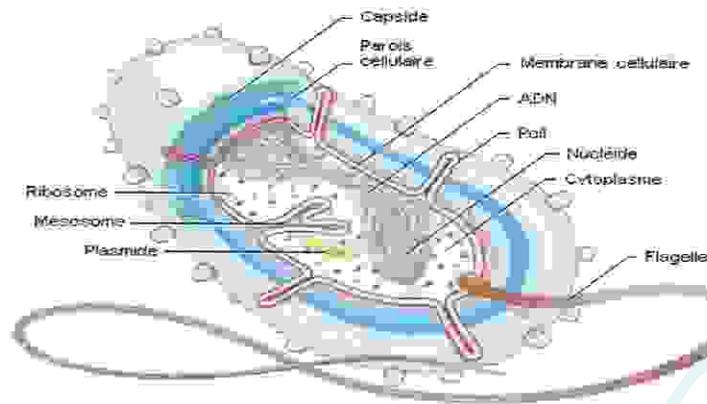


Figure.1. cellule bactérienne [42].

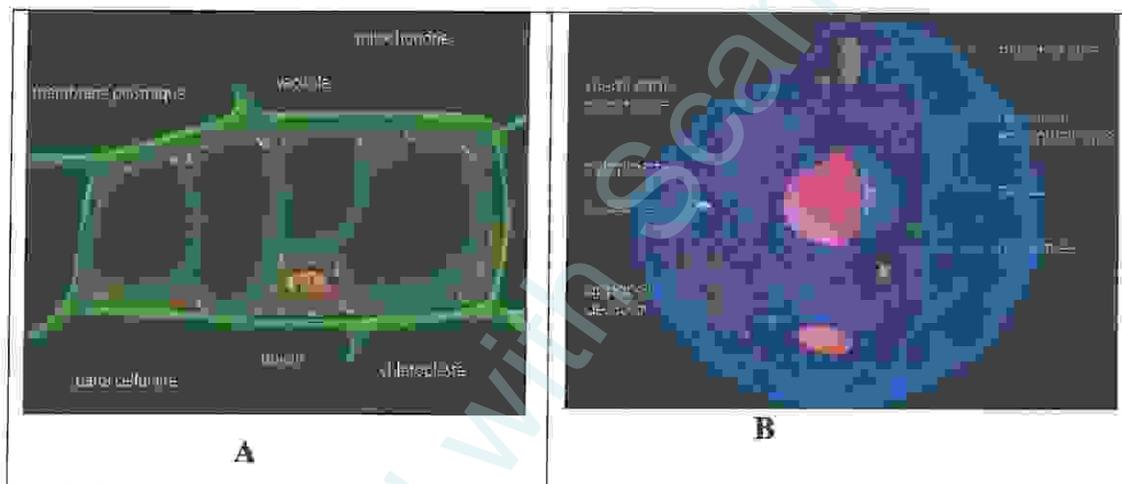


Figure.2. cellule végétale (A) et animale (B) [9].

1.2. Transgénèse :

La transgénèse est le fait d'introduire un ou plusieurs gènes dans un organisme vivant. Ce transgène pourra être exprimé dans l'organisme transformé. Stratégie servant initialement aux chercheurs pour étudier la fonction des gènes, cette approche est également utilisée par les industries pharmaceutique et agro-alimentaire. Elle est entre autres la nouvelle stratégie d'obtention de variétés végétales ou animales résistantes au stress biotique (parasites, insectes...) ou abiotique (sécheresse, faible luminosité...). Ces nouvelles variétés sont généralement regroupées sous le terme d'organismes génétiquement modifiés (O.G.M) [7].

1.3. Génie génétique :

Est un ensemble de techniques, issues de la biotechnologie, ayant pour objet la modification des génotypes, et donc des phénotypes, par transgénèse. Cette manipulation permet aux cellules receveuses d'acquérir de nouvelles propriétés provenant d'une espèce différente [14].

1.3.1. Le gène :

Un gène est une séquence d'acides désoxyribonucléiques (ADN) qui spécifie la synthèse d'une chaîne de polypeptides ou d'un acide ribonucléique (ARN) fonctionnel. On peut également définir un gène comme une unité d'information génétique (voir le Fig.3.) [15].

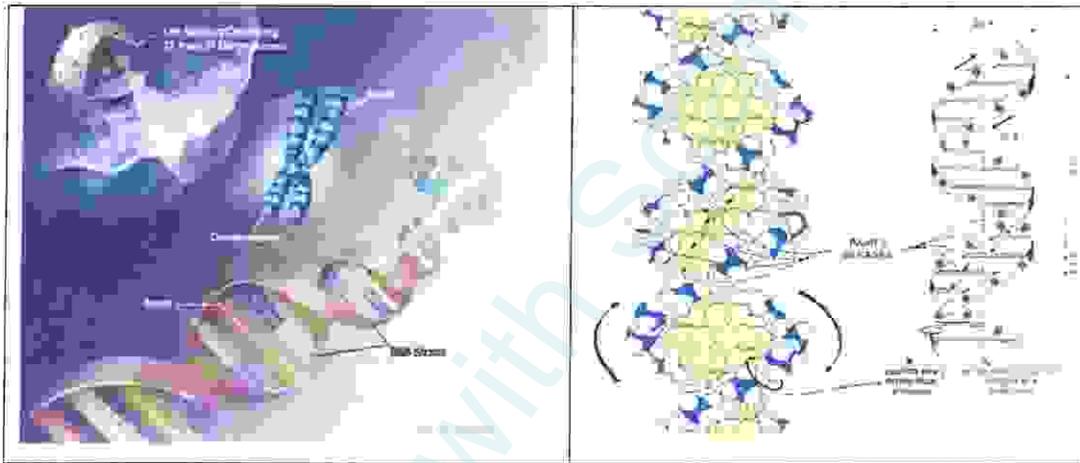


Figure.3. le gène [15].

1.3.2. Le génome :

Contient l'ensemble des renseignements génétiques d'un être humain, d'un animal ou d'une plante. Le génome est constitué de toute la matière relative à la formation d'un individu. Les chercheurs tentent d'introduire des gènes particuliers dans les génomes de plante, par exemple afin de contrer un problème, une particularité que l'on voudrait éliminer chez une espèce [16].

1.4. Organisme transgénique :

Un organisme, comme une plante, un animal ou une bactérie, est considéré transgénique si un ou plusieurs de ses gènes ou caractères ont été introduits à l'aide du génie génétique. Ceci comprend l'insertion de matériel génétique de la même espèce ou d'une espèce différente [8].

2. les techniques de la fabrication d'un Organisme génétiquement modifié :

2.1. Techniques de transfert direct :

Permet d'utiliser des organismes dont les membranes sont fragilisées ou des cellules végétales dépourvus de parois et de les mettre en contact avec de l'ADN. Puis un traitement physique ou chimique permet l'introduction de l'ADN dans les cellules, modifiant ainsi la composition génétique de celles ci.

Il existe plusieurs techniques de transfert direct que nous allons expliciter : l'électroporation, la micro-injection et la biolistique [9].

2.1.1. L'électroporation :

Cette technique permet, grâce à un champ électrique, de déstabiliser la membrane plasmique du protoplaste; ceci provoque un changement de potentiel d'action, donc l'ouverture de pores membranaires. Les plasmides mis en solution avec les protoplastes peuvent alors facilement traverser les membranes et se retrouver dans le noyau des cellules où ils seront incorporés au génome d'où une cellule génétiquement modifiée voir fig.4. [10].

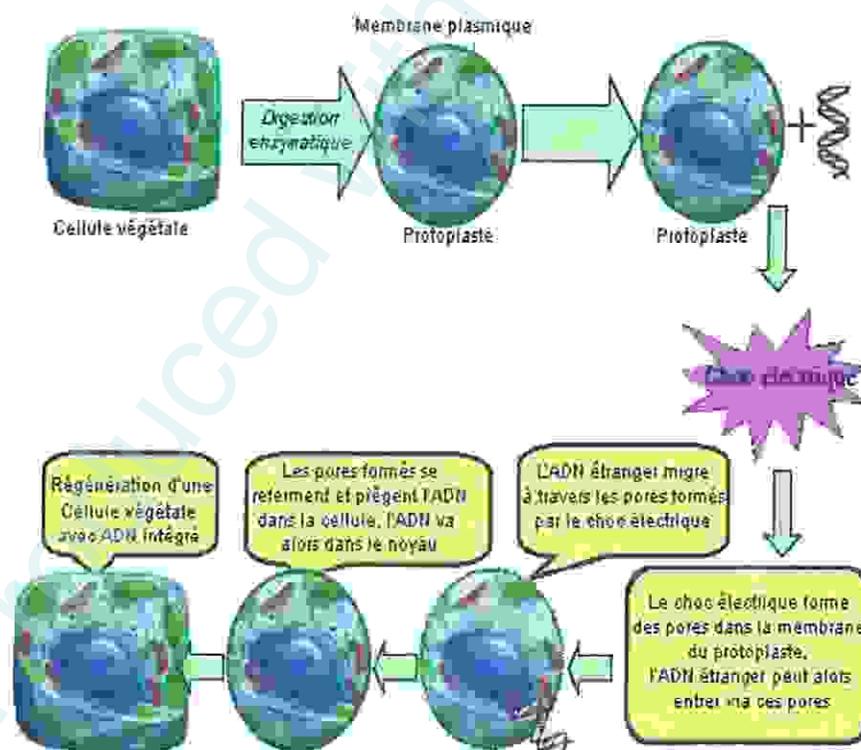


Figure.4. la technique de L'électroporation [9].

2.1.2. La micro-injection :

Le matériel qui s'avère le plus favorable est le protoplaste, une cellule isolée dont on a retiré les parois. L'opération est réalisée grâce à un micromanipulateur (composé de deux micro-aiguilles) monté sur un microscope photonique inverse voir fig.5. [11].

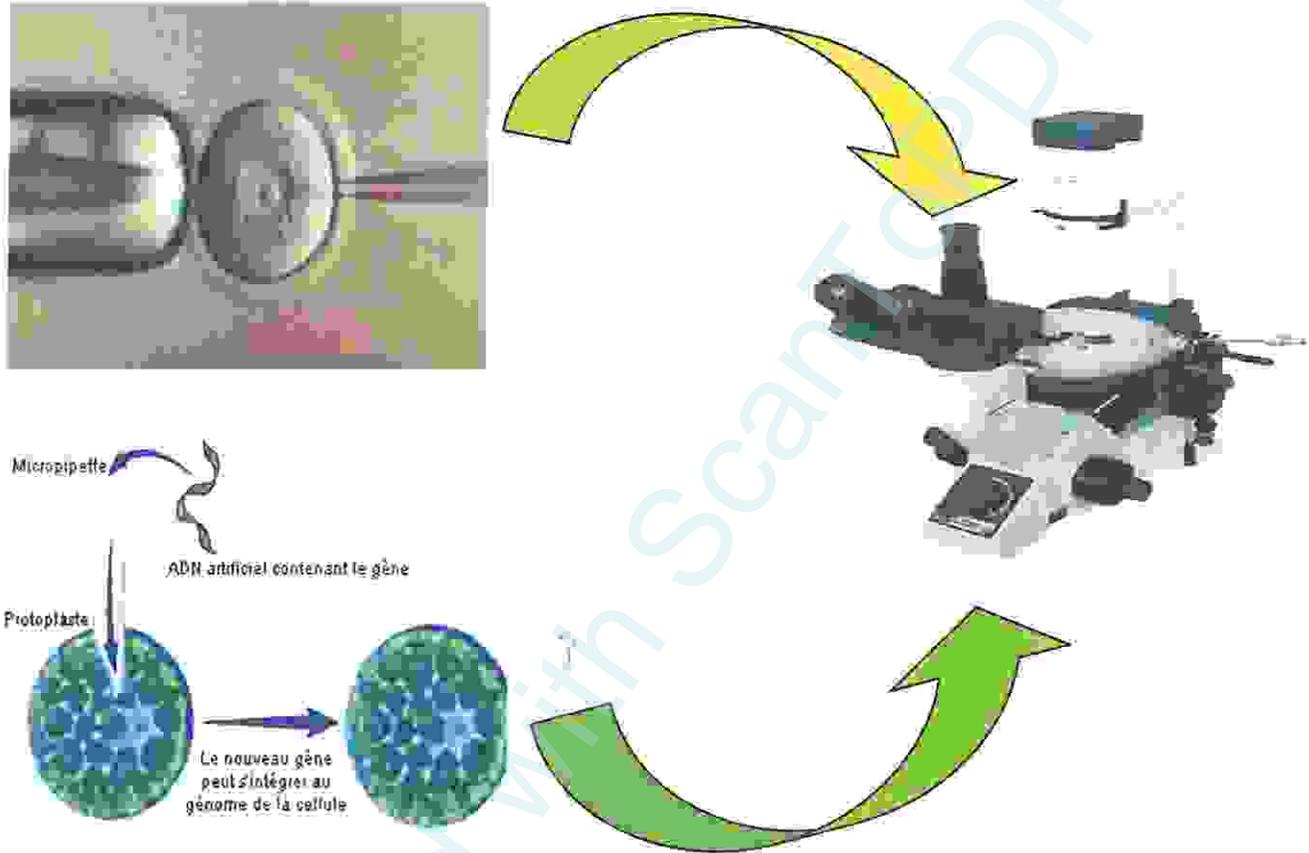


Figure.5. technique d'une micro-injection [54].

2.1.3. La biolistique :

La biolistique ou "canon à gènes". Cela consiste à faire adsorber les constructions moléculaires par des micro-billes en or : 0.6 à 2 micro mètres de diamètre. Ces billes sont ensuite envoyées sur des cellules végétales et seront progressivement freinées par les différentes couches cellulaires qu'elles traversent voir fig.6. [11].

2.2.2. La lipotransfection :

La technique de la lipotransfection est également une méthode dite directe. Le but de cette méthode est d'« emprisonner » le gène d'intérêt dans un liposome, c'est-à-dire une structure sphérique constituée de lipides. Ceux-ci ont la capacité de fusionner avec la membrane de protoplastes, ils libèrent ainsi leur contenu (ici le gène d'intérêt) dans le cytoplasme du protoplaste. Cependant, seulement une minorité de ces gènes pourront parvenir jusqu'au noyau et s'intégrer par la suite au génome de la cellule, c'est pourquoi cette méthode est peu utilisée [9].

3. Les principaux gènes utilisés dans la fabrication des OGM :

3.1. Le gène de résistance aux insectes (ou aux ravageurs) :

Qui permet aux cultures de repousser par sa constitution génétique un certain type d'insectes généralement attiré par celle-ci. Cette capacité concerne 17% des surfaces mondiales d'O.G.M. Le principale O.G.M de ce type connu est le maïs Bt qui représente 13% des surfaces OGM mondiales. La manipulation consiste en l'introduction d'une bactérie qui crée pour les insectes un substitut de protéine toxique et permet donc à la plante de lutter « naturellement » contre la pyrale du maïs [41].

3.2. Le gène de tolérance aux herbicides :

Il s'agit de gènes conférant une tolérance à certains herbicides permettant à la culture de ne pas souffrir de l'utilisation massive d'un certain type de pesticides (par exemple le glyphosate composant du pesticide Roundup). A l'heure actuelle, 75% des OGM cultivés dans le monde sont des variétés produites pour résister aux herbicides [41].

3.3. Le gène de tolérance à la sécheresse et au froid :

En effet, les stress, quels qu'ils soient diminuent les capacités de développement des plantes et peuvent menacer leur survie. Rien ne permet à l'heure actuelle de prémunir les cultures du froid et l'irrigation ne peut à elle seule résorber les méfaits d'une sécheresse. C'est pourquoi, on cherche par des modifications génétiques à créer des plantes très résistantes à différents stress en couplant les gènes de la plante recherchée avec une autre comportant une réponse végétale au problème rencontré [14].

3.4. Le gène de stérilité mâle :

Le gène de stérilité mâle (barnase) code une ribonucléase qui s'oppose à l'expression des molécules d'acide ribonucléique nécessaires à la fécondité. Il est contrôlé de façon à ne s'exprimer que dans le grain de pollen.

Le gène barstar, quant à lui, est un inhibiteur de cette ribonucléase, et rend sa fertilité au pollen.

La combinaison des deux gènes permet, par exemple, d'empêcher l'autofécondation dans une variété pure porteuse de barnase, mais d'autoriser la production de graines par un hybride de cette variété et d'une autre, porteuse de barstar. Ainsi, on peut obtenir de semences hybrides homogènes (utilisé pour des salades en Europe), ou empêcher le réemploi des graines [40].

3.5. Le gène inhibiteur d'autres gènes :

L'opération consiste à introduire un exemplaire supplémentaire d'un gène cible, mais en orientation inverse (on parle alors de gène « antisens »), ou, parfois, dans le bon sens, mais tronqué. La présence de ce gène « erroné » diminue de manière drastique l'expression du gène normal, ce qui empêche la synthèse de l'enzyme cible. Permet de réguler de façon artificielle certains mécanismes (maturation des fruits, etc.) [1].

3.6. Les gènes de résistance naturels :

Il est bien connu que toute population de plantes ou d'animaux comporte des individus qui spontanément résistent à certaines maladies infectieuses. Ce caractère est souvent héréditaire et la sélection des plantes ou animaux résistants à une maladie infectieuse a dans certains cas été couronnée de succès. Cette stratégie est bien entendu inapplicable à l'Homme. Elle n'est pas toujours aisée chez les plantes et les animaux car le caractère de résistance est souvent multigénique. Pour cette raison également, l'utilisation via la transgénèse d'un gène de résistance naturel isolé n'a jamais été véritablement possible. La connaissance de la structure des génomes qui est en croissance rapide va permettre d'identifier plus facilement des gènes de résistance intéressants (Müller *et al.*, 2000).

Les tableaux suivants représentent les gènes utilisés dans quelques O.G.M (Tab.1. et Tab.2.).

Tableau.1. Quelques OGM actuellement disponibles [17].

OGM	Les gènes utilisés	Source du gène	Objet de la modification génétique	Principaux bénéficiaires
Maïs	Résistance aux insectes	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Réduction des dégâts causés par les insectes	Agriculteurs
Soja	Tolérance aux herbicides	<i>Streptomyces spp</i>	Élimination plus efficace des plantes adventices	Agriculteurs
Coton	Résistance aux insectes	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Réduction des dégâts causés par les insectes	Agriculteurs
<i>Escherichia coli</i> K 12	Production de chymosine ou de rennine	Vaches	Utilisation dans la fabrication du fromage	Transformateurs et consommateurs
Œillets	Altération de la couleur	<i>Freesia</i>	Production de variétés différentes de fleurs	Détaillants et consommateurs

Tableau.2. Quelques OGM en cours de développement [17].

OGM	Les gènes utilisés	Source du gène	Objet de la modification génétique	Principaux bénéficiaires
Maïs	Résistance aux insectes	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Lutte contre les insectes	Agriculteurs
Tilapia	Hormone de croissance	Plie arctique/ saumon	Accroissement de l'efficacité de croissance	Pisciculteurs
Peupliers	Tolérance aux herbicides	<i>Streptomyces spp.</i>	Simplification de la lutte contre les plantes adventices	Gestionnaires forestiers
Saumon	Hormone de croissance	Plie arctique/ saumon	Accroissement de l'efficacité de croissance	Pisciculteurs
Eucalyptus	Modification de la composition de la lignine	<i>Pinus sp.</i>	Production de pâtes et de papier	Gestionnaires forestiers et industrie du papier
Riz	Expression de bêta-carotène	Jonquille <i>Erwinia</i>	Oligo-élément ajouté	Consommateurs présentant une carence en vitamine ADC
Montan	Expression d'un anticorps dans le lait	<i>H. sapiens</i>	Lait enrichi	Consommateurs

CHAPITRE II

les applications et la detection des OGM

Produced with Scantopdf

1. Les applications des OGM :

Les O.G. M peuvent être regroupées dans quatre grands domaines :

Améliorations agronomiques, qualités alimentaires, production de molécules à intérêt industriel et production de molécules destinées à la santé humaine [18].

1.1. L'agronomie :

De nombreux travaux de transgénèse concernent l'introduction de gènes de résistance aux herbicides ou aux insectes, et dans une moindre mesure, à certains virus et maladies. Associées à un usage raisonné d'herbicides et de pesticides, ces plantes transgéniques vont améliorer l'efficacité de l'agriculture, tout en respectant encore mieux l'environnement [18].

1.1.1. La résistance à des insectes :

La transgénèse offre aujourd'hui un outil supplémentaire aux agriculteurs pour limiter les traitements chimiques et protéger leurs récoltes contre les insectes et les maladies et ainsi réduire les pertes.

Pour rendre une plante résistante à un insecte, un gène codant une protéine toxique pour cet insecte a été introduit dans le génome de la plante. Jusqu'à présent, pour toutes les variétés mises sur le marché, les gènes introduits proviennent de la bactérie *Bacillus thuringiensis*, bien connue depuis longtemps pour ses propriétés insecticides et largement utilisée en agriculture biologique, ainsi que par les exploitants forestiers et les jardiniers. En 2006, La résistance aux insectes représentait 19 % (19,0 millions d'hectares) de la surface totale d'O.G.M cultivés dans le monde voir fig.9. [39].

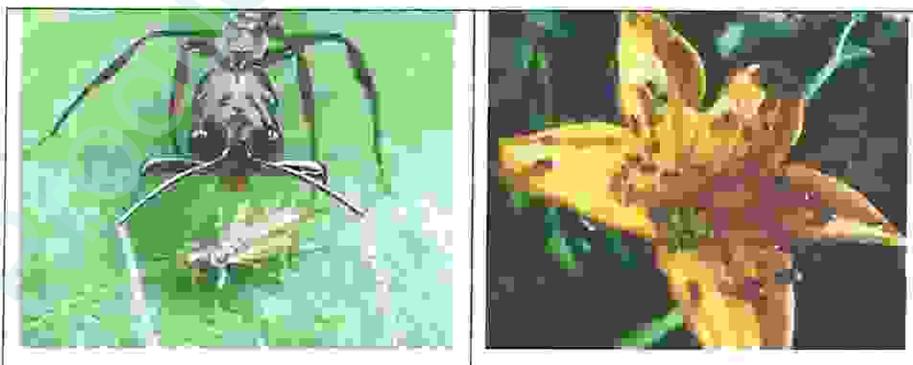


Figure.9. des plantes résistant à des insectes [44].

1.1.2. La résistance à des maladies :

Les virus, les champignons et les bactéries sont responsables de pertes importantes en production végétale. Or, il n'existe aucune méthode de traitement des maladies (voir fig.10.) dues à des virus chez les plantes cultivées. Par transgénèse, il est possible d'obtenir des plantes résistantes aux virus. Ces plantes transgéniques synthétisent des protéines qui bloquent la multiplication et le développement des virus. Ainsi, il a été possible d'obtenir des courgettes et des melons résistant au virus de la mosaïque du concombre. L'obtention de plantes résistant aux champignons et aux bactéries est en cours de développement [21].



Figure.10. Quelques maladies des plantes [60].

1.1.3. La résistance à des herbicides :

Le glufosinate (Basta ou Liberty) et le glyphosate (Roundup) sont des herbicides totaux qui détruisent aussi bien les mauvaises herbes que les plantes cultivées (voir fig.11.). Les gènes de résistance à l'herbicide introduits dans une plante empêchent la matière active d'agir sur celle-ci, transformant l'herbicide total en herbicide sélectif sur cette plante. Ainsi l'herbicide détruit toutes les mauvaises herbes présentes tout en respectant totalement la plante cultivée.

De plus, ces désherbants totaux ont la propriété de ne pas être rémanents. De nombreuses plantes transgéniques ont été développées pour obtenir une tolérance à ces herbicides. Il s'agit de variétés de betterave, colza, coton, maïs, pomme de terre et de soja (Primorse *et al.*, 2004).

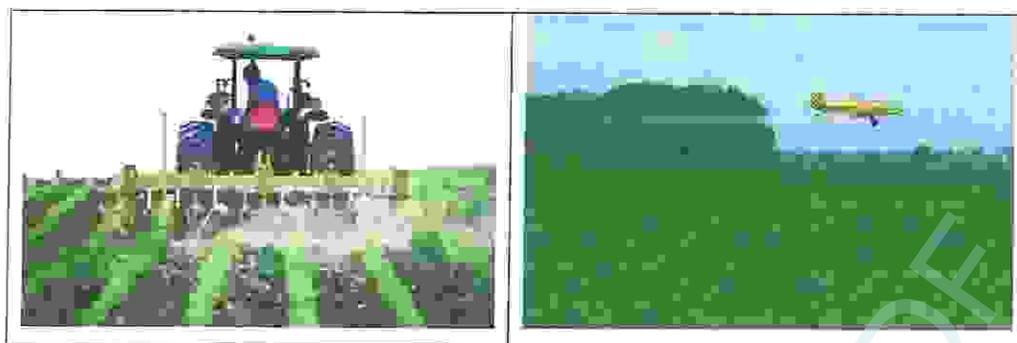


Figure.11. Champs transgéniques résistent a des herbicides [45].

1.2. L'alimentation :

Il s'agit de modifier la composition d'une plante afin de lui apporter des avantages nutritionnels et gustatifs ou de lui conférer de nouvelles caractéristiques qui permettent de diversifier les débouchés [18].

1.2.1. Amélioration de la qualité des aliments :

L'introduction de nouveaux gènes peut conduire à améliorer la qualité d'un aliment sur le plan nutritionnel (augmentation de la quantité de vitamines dans certaines plantes telles que le riz, diminution de la teneur en acides gras saturés dans les plantes à huile, augmentation de la teneur en oméga-3 du soja, etc.), sur le plan allergique (inhibition de l'expression des protéines allergènes dans le riz, le soja ou les arachides), sur le plan de la conservation (maturation retardée), sur le plan des qualités organoleptiques (modification de la couleur, de la teneur en sucres, de l'acidité, etc.) ou sur le plan digestif (amélioration de la digestibilité des aliments pour bétail) voir fig.12. [19].

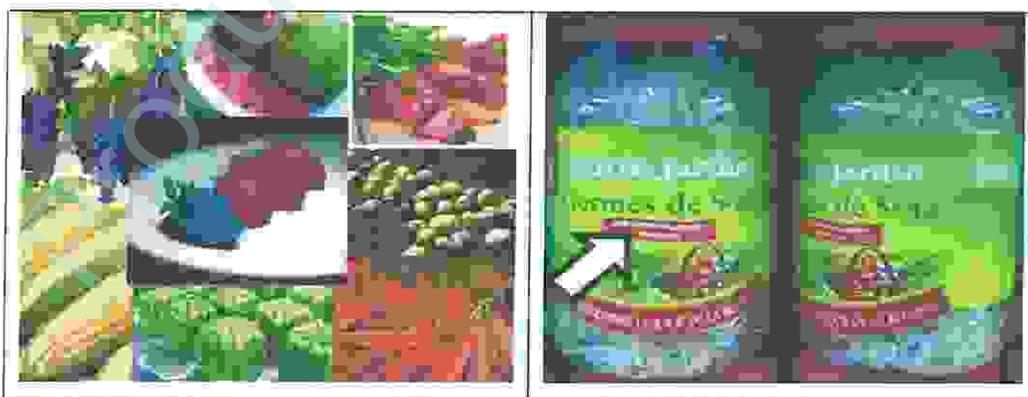


Figure.12. Des aliments génétiquement modifiés [46].

1.2.2. L'amélioration de la nutrition animale :

L'utilisation du génie génétique pourrait permettre d'améliorer la qualité nutritionnelle des plantes utilisées en alimentation animale, en augmentant la teneur en certains acides aminés (méthionine, lysine, thréonine, tryptophane). Ces éléments, synthétisés en trop faible quantité par ces plantes, sont actuellement amenés sous forme de compléments nutritifs. De plus, l'accumulation de certaines enzymes pourrait permettre d'améliorer la digestibilité des aliments [2].

1.2.3. La maturation des fruits :

Ce sont les résultats les plus avancés concernant la qualité alimentaire. Sur le melon, sur la tomate, on a pu obtenir des variétés transgéniques à maturation retardée voir **fig.13**. Ces fruits peuvent être récoltés à un stade de maturation plus avancé, donc être plus savoureux. D'autre part, il en résulte une meilleure conservation et une aptitude au transport améliorée, réduisant les pertes.

Le melon est le premier fruit génétiquement modifié obtenu par un laboratoire de recherche français. Un gène capable de bloquer la synthèse de l'éthylène a été introduit, ce qui ralentit la maturation. Le détachement du fruit est retardé et le melon maintenu sur pied continue d'accumuler des sucres [21].

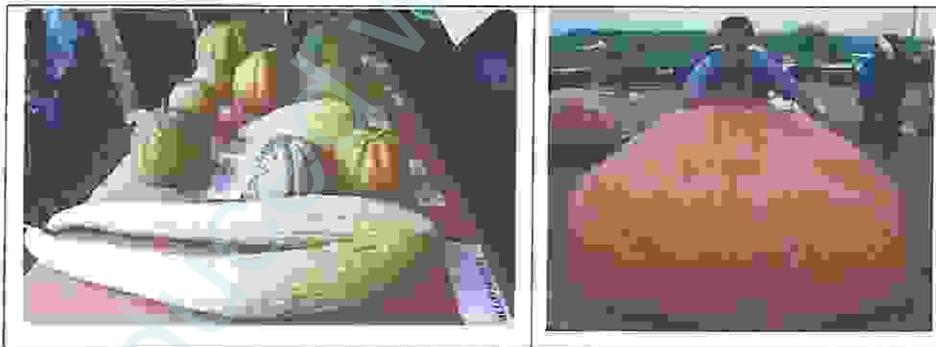


Figure.13. Fruits génétiquement modifiés [47].

1.2.4. La transformation agro-alimentaire

Dans ce domaine, les champs d'application potentiels sont très variés : il peut s'agir de la production des protéines impliquées dans des procédés agro-alimentaires, ou de la modification des caractéristiques des végétaux pour optimiser leur utilisation. Ainsi, des travaux ont permis de modifier la teneur en amidon chez la pomme de terre, afin

d'augmenter la teneur en matière sèche, et de disposer ainsi de pommes de terre mieux adaptées à la fabrication de fécule, de purée ou de chips.

Des gènes ont également été transférés chez le colza pour modifier la teneur en acides gras ou pour obtenir des huiles contenant des nouveaux acides gras recherchés en alimentation humaine [21].

1.3. L'industrie :

Les biotechnologies ouvrent de nombreuses perspectives dans les domaines de l'industrie, en produisant des molécules nouvelles (Molecular Farming) et en améliorant les procédés industriels et la qualité des produits [18].

1.3.1. Les pâtes à papier :

Les lignines sont l'un des constituants majeurs du bois, mais elles gênent l'industrie papetière qui ne peut les valoriser et doit les éliminer par des méthodes coûteuses et polluantes.

Des travaux conduits par la recherche publique française ont permis de connaître les gènes impliqués dans la synthèse des lignines et de développer des variétés de peupliers transgéniques, chez lesquels le taux de lignine est fortement réduit. Ceci facilite le blanchissement de la pâte à papier et donc réduit l'impact sur l'environnement le **fig.14**, représente les pâtes à papier (Tourte *et al.*, 2002).

Le même type de travail a été réalisé sur l'eucalyptus pour produire des plastiques biodégradables (Bouchet *et al.*, 2005).

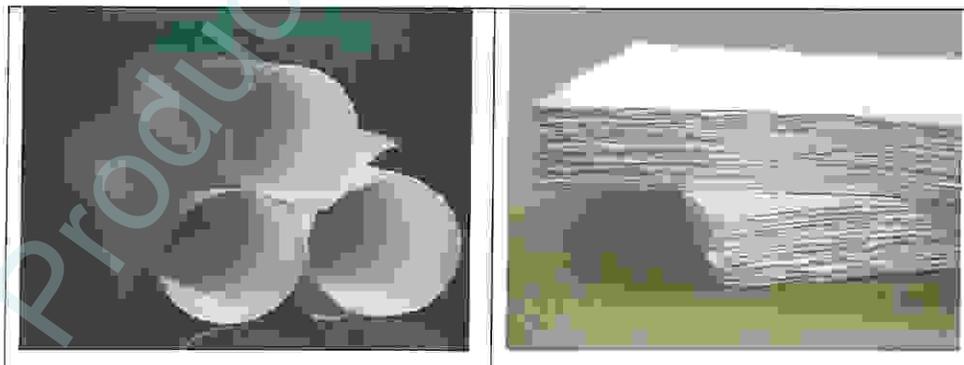


Figure.14. pâtes à papier à base d'O.G.M [48].

1.3.2. Les huiles industrielles :

Elles sont synthétisées à partir de matières premières fossiles, dont les ressources sont limitées. Il est donc nécessaire de s'orienter vers d'autres ressources renouvelables. Parmi les nombreux programmes de recherche, on peut citer celui destiné à l'obtention d'un colza transgénique à haute teneur en acide gras érucique ou ricinoléique pour la production de lubrifiants, de matières plastiques, etc. Cette stratégie devrait favoriser le développement de lubrifiants et de plastiques biodégradables [18].

1.3.3. Les colorants :

Un exemple original est l'obtention de cotons transgéniques de couleur grâce à l'introduction d'un gène bactérien ou végétal codant pour un pigment. Ceci évitera l'utilisation de teintures chimiques difficilement recyclables [18].

1.4. La santé :

1.4.1 La production d'insuline :

Permet de réguler le taux de sucre dans le sang, en lui permettant de passer du sang dans les cellules. En son absence, c'est le problème du diabète insulino-dépendant. Avant, on allait chercher l'insuline chez l'animal, soit le lapin soit le cochon qui sont les animaux qui nous ressemblent le plus. L'insuline du cochon correspond de très près à l'insuline de l'homme. Mais ceci posait d'une part un problème d'approvisionnement car il y a trop de diabétiques à soigner, et d'autre part la petite différence entre les deux insulines n'est pas si anodine, elle occasionnait des allergies. La solution est venue de la transgénèse. On prend l'ADN du bonhomme, on identifie son gène de l'insuline, on le met dans une bactérie qu'on cultive dans des fermenteurs de 200 litres, à échelle industrielle. On récupère ensuite en grande quantité l'insuline qui pourra être injectée voir fig.15. [6].

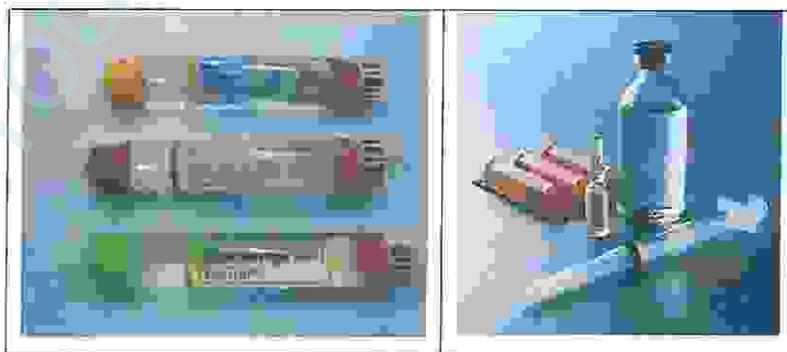


Figure.15. Insulines préparées à base d'une bactérie transgénique [49].

1.4.2. La production de vaccins :

Un virus est une coque de protéine, qui contient en général un seul chromosome. Lorsqu'on attrape ce virus, l'organisme le reconnaît comme un corps étranger : il fabrique des anti-corps qui neutralisent le virus. Mais le temps que l'organisme réagisse, le virus se multiplie et il gagne. D'où l'idée de Pasteur d'injecter un virus « atténué » (fragilisé par la chaleur ou les UV) pour stimuler la production d'anticorps.

Mais il est arrivé des accidents : le virus n'était pas suffisamment atténué et rendait la personne malade.

Une des solutions (sachant que les alternatives n'ont pas toutes été explorées) : on identifie le gène de fabrication de la protéine de surface qui est celle qui stimule la réaction immunitaire. On la met dans une levure de boulanger qui est multipliée, et produit ces protéines qu'on injecte aux gens. Ce qui est intéressant dans cette technique c'est qu'on n'a pas eu besoin d'inoculer le virus qui pourrait se révéler dangereux, seulement sa protéine de surface [6].

1.4.3. Les produits sanguins :

Des recherches menées en France ont déjà permis de faire produire des protéines plasmatiques à des plants de tabac transgéniques, permettant l'obtention d'hémoglobine humaine recombinée.

Des travaux montrent qu'il est possible de synthétiser de l'albumine humaine, employée lors du traitement des traumatismes, à partir de tabac ou de pomme de terre. Cette albumine devrait être moins chère que celle issue du plasma sanguin. Cette nouvelle source permettrait de répondre à l'augmentation des besoins [18].

1.4.4. Production de collagène humain :

Le collagène est la principale protéine dans le corps humain présente dans le derme (couche de cellules de la peau). Le collagène présente de nombreuses applications comme cicatrisant, peau artificielle, revêtement d'implants, pansement de blessures, traitement des cicatrices et des rides, réparation des tissus... Le collagène qui est actuellement utilisé est d'origine bovine. Cette situation crée une demande pour du collagène humain produit à partir de plantes transgéniques. Cette production végétale éliminerait les réactions immunitaires et la possibilité de transfert d'agents pathogènes d'origine animale.

Deux équipes françaises de recherche ont réussi à faire produire du collagène humain par du tabac. Cette production de collagène est actuellement en phase de développement [22].

1.4.5. Les protéines humaines :

Des travaux sont actuellement en cours pour faire produire des protéines ou des glycoprotéines à usage thérapeutique à partir de soja, de tabac, de pomme de terre, de riz ou de colza [18].

1.4.6. La production de lipase gastrique à partir de maïs transgénique :

La lipase gastrique est une protéine utilisée dans le traitement de l'insuffisance pancréatique exocrine, c'est-à-dire l'impossibilité pour le pancréas de faire passer dans le système digestif les enzymes nécessaires à l'assimilation des aliments. L'absence de lipase gastrique empêche le système digestif de métaboliser les lipides contenus dans la nourriture. Ce problème affecte principalement les patients atteints de mucoviscidose ou de pathologies du pancréas.

La lipase gastrique est indispensable aux malades. Le traitement actuel repose sur l'administration d'un extrait pancréatique de porc. Les doses d'extraits pancréatiques peuvent atteindre 20 comprimés par jour. De plus, ce traitement n'a aucune efficacité pour 15 % des patients.

Une entreprise française développe actuellement une lipase gastrique produite à partir de maïs transgéniques. En effet, le gène codant pour cette lipase a d'abord été transféré à des plants de tabac (plante de test), puis de colza et de maïs plus adaptés à la production de molécules à rôle pharmaceutique. Ainsi les chercheurs sont parvenus à obtenir de la lipase fonctionnelle à partir de ces plantes transgéniques [24].

1.4.7. La production de vitamine A :

La carence en vitamine A affecte, d'après l'organisation mondiale de la santé entre 100 et 200 millions d'enfants. Cette carence est responsable de graves troubles oculaires, de cécité infantile et du décès de plus d'un million d'enfants chaque année. Or les tentatives de diversification nutritionnelle ou de suppléments en vitamines atteignent difficilement toutes les personnes qui en auraient besoin.

C'est pourquoi des chercheurs ont travaillé sur l'enrichissement en vitamine A, ou en précurseurs de vitamine A, des composants de base de certains régimes alimentaires.

C'est le cas d'un riz transgénique appelé « riz doré ».

Par introduction de trois gènes dans du riz, des chercheurs allemands ont réussi à restaurer une voie de biosynthèse du bêta carotène (pigment précurseur de la vitamine A) qui existe naturellement dans le riz (synthétisé dans l'enveloppe) mais qui ne s'exprime pas dans son

albumen (dans le grain). En effet, l'enveloppe du riz est éliminée de manière à améliorer la conservation du riz. Les grains de riz consommés ne contiennent donc plus de bêta carotène. Les grains de riz sont blancs, mais grâce à l'introduction de ces nouveaux gènes, ce riz produit naturellement dans l'albumen du bêta carotène, molécule qui colore les grains en jaune, d'où le surnom de « riz doré ». Une fois assimilé, le corps humain transforme le bêta carotène en vitamine A.

Les teneurs obtenues jusqu'à présent ne laissent pas envisager de pouvoir fournir aux populations démunies de vitamine A, par cette seule voie, les quantités qui leur seraient nécessaires. Mais les effets de carences plus ou moins prononcés pourraient être sensiblement allégés [25].

1.5. L'environnement :

Le recours à des variétés transgéniques permet une moindre utilisation d'insecticides et d'herbicides et ouvre le champ de la recherche sur les pratiques culturales simplifiées [18].

1.5.1. Des herbicides au profil écotoxicologique favorable :

La création de plantes tolérantes aux herbicides permet l'utilisation de matières actives au profil écotoxicologique favorable, c'est-à-dire à faible durée de vie, à biodégradabilité rapide, respectant et l'environnement et à large efficacité. Ces cultures peuvent supporter ce traitement grâce à l'introduction d'un gène de tolérance spécifique. En 1996, un nouveau système de désherbage a été lancé en Amérique du Nord sur des cultures comme le soja, le colza et le maïs [22].

1.5.2. La réduction de l'utilisation des insecticides :

Une étude sur l'impact du coton Bt (résistant aux insectes) montre qu'en 1999, les agriculteurs chinois ayant adoptés des variétés Bt ont consommé en moyenne 10 kg/ha d'insecticides contre 58 kg/ha pour les agriculteurs ayant cultivé des variétés non transgéniques [22].

1.5.3. La diminution de l'érosion des sols :

Une étude sur 5 ans (1996 à 2001) auprès de 450 cultivateurs américains de soja montre que pour 63 % d'entre eux, le développement des techniques culturales sans labour, qui permet une réduction de l'érosion des sols de l'ordre de 90 %, est rendu possible en premier

lieu par l'introduction de variétés de soja transgéniques tolérant à un herbicide voir fig.16. [22].

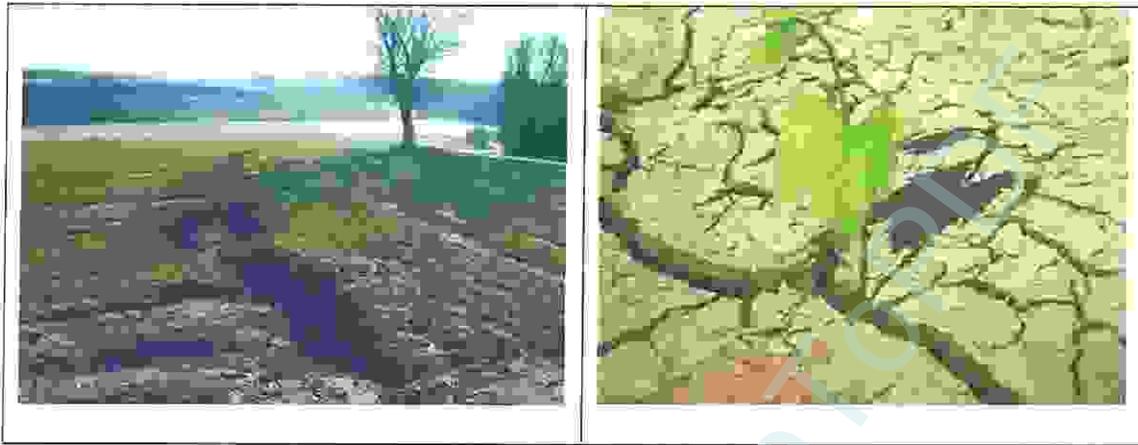


Figure.16. Cultures des soja transgénique pour bute de diminué l'érosion des sols [50].

1.5.4. Résistance aux conditions climatiques extrêmes :

Une grande partie de la surface de la planète est impropre à l'agriculture du fait de conditions défavorables (froid, sécheresse, salinité...). Les biotechnologies pourront apporter une réponse aux pays en voie de développement en créant de nouvelles espèces adaptées à ces conditions fig.17. [2].

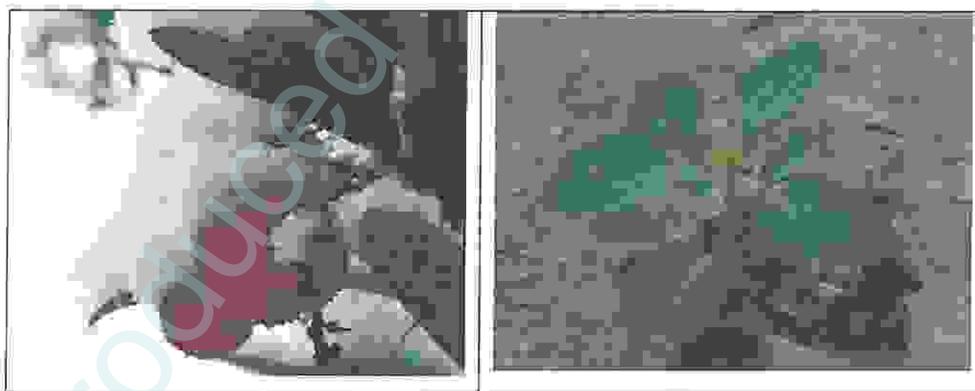


Figure.17. Plantes transgéniques résistants aux conditions extrêmes [51].

1.5.5. L'enrichissement du patrimoine végétal :

La sélection classique a déjà fait la preuve de sa capacité à enrichir les espèces et variétés. Par la création de variétés nouvelles qui constitue l'objectif premier de son activité, la sélection classique a ainsi doté le "patrimoine végétal" de spécimens nouveaux. Dès les

origines de l'agriculture, cette activité de sélection empirique a été à l'origine de nombreuses variétés aujourd'hui partie intégrante de ce patrimoine. Les biotechnologies modernes, et le génie génétique, s'inscrivent dans cette continuité avec une diversité d'objectifs. Elles ont à leur disposition des outils qui ouvrent davantage encore le champ des possibles. Dès lors, les biotechnologies vont contribuer encore à l'extension du patrimoine végétal [18].

2. La détection des OGM :

La détection des O.G.M dans les aliments humains est une obligation réglementaire (directive européenne) depuis septembre 1998. La réglementation retient les protéines et ADN issus des O.G.M comme critère de détection. Il n'existe pas actuellement de méthode normalisée de détection des O.G.M. Les méthodes de détection utilisent le plus souvent la réaction de polymérisation en chaîne (PCR), qui permet de détecter n'importe quel fragment d'ADN dont on connaît la séquence, et la méthode d'ELISA [9].

2.1. Test d'ELISA :

C'est la technique la plus rapide et la moins coûteuse, c'est un test immunologique qui détecte et /ou dose une protéine présente dans un liquide biologique. Dans la technique les puits d'une microplaque sont tapissés d'un anticorps de capture capable de lier spécifiquement l'antigène recherche voir **fig.18**. Pendant cette opération, l'anticorps de capture se fixe au plastique des puits par interaction électrostatique efficace. La solution à tester est déposée dans la puits de la microplaque. Si l'antigène recherche est présent, il se lie spécifiquement à l'anticorps de capture. Dans un deuxième temps, un second anticorps traceur capable de se lier à l'antigène capturé est ajouté aux puits. Les anticorps traceurs non fixés sont éliminés par rinçage. L'anticorps traceur est ensuite couplé à une enzyme catalysant la formation d'un produit coloré. La réaction est alors quantifiée par colorimétrie à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec des concentrations connues de l'antigène recherché. (Ayed et Bendjemil, 2008).

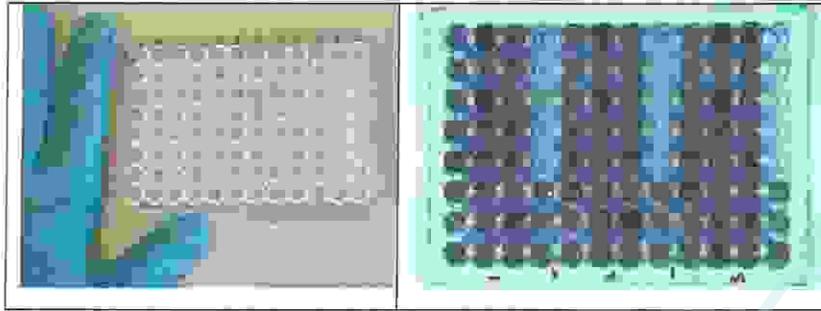


Figure.18. Des microplaques utilisé sur la technique de l'ELISA [52].

2.2. La réaction de polymérisation en chaîne :

La réaction de polymérisation en chaîne, ou PCR, est une méthode pour copier des milliers de fois des brins d'ADN en l'espace de quelques minutes, en utilisant les capacités naturelles d'une enzyme appelée la polymérase. La réaction de polymérisation en chaîne facilite le travail des scientifiques qui étudient un certain morceau d'ADN, qui aurait pu avoir été prélevé à partir d'un échantillon minuscule de liquide organique en grossissant sa présence. De cette manière, à partir d'un tout petit nombre de molécules, il est possible de produire un grand nombre de copies du gène cible.

Imaginée par M. Mullis en 1985 (Prix Nobel en 1993), la technique connu un essor considérable à partir de la commercialisation, vers 1988, d'une ADN polymérase résistante aux températures élevées : la Tac polymérase, qui permet une automatisation de la technique. Puisque les séquences d'ADN sont spécifiques à une espèce ainsi qu'aux individus dans cette espèce, la réaction de polymérisation en chaîne peut être utilisée pour identifier l'espèce et l'individu exact à partir d'une d'un seul morceau d'ADN.

Avant de débiter la PCR, une région cible de l'ADN est choisie. La séquence de nucléotides de cette région ne doit pas nécessairement être connue, à l'exception de deux courtes séquences situées à chaque extrémité. Des copies complémentaires des séquences sont créées en utilisant des enzymes spéciales : les « amorces ». Elles identifient le début et la fin du processus de copie. Par exemple, si l'on veut copier un brin d'ADN qui est long de 20 nucléotides mais que l'on ne désire que la séquence entre les numéros 3 et 7 ; les séquences des nucléotides jusqu'au 3 et après le 7 sont identifiées et ensuite deux segments complémentaires de ces séquences, les amorces, sont formés avant que la réaction de polymérisation en chaîne ne commence.

Pour accomplir cette réaction, quatre choses sont donc nécessaires : le fragment d'ADN à copier, deux fragments amorces (fragments d'ADN spécifiques du gène recherché), l'enzyme de la polymérase et une machine spéciale qui contrôle parfaitement la température.

La dénaturation : Tout d'abord l'ADN choisi, initialement sous forme de double hélice, est séparé en un seul brin d'ADN. Cette étape est nécessaire parce qu'un morceau d'ADN ne peut pas être copié lorsqu'il est sous forme de double hélice. Le procédé de séparation s'appelle la «dénaturation». Celle-ci se produit lorsque l'ADN est chauffé à 90-96°C.

Les amorces : La prochaine étape est d'ajouter des amorces et de baisser la température pour faciliter leur collage. Puisque les amorces sont complémentaires aux zones du début et de la fin de la partie choisie de la séquence d'ADN, elles se colleront sur ces dernières et agiront comme des éléments constitutifs de l'ADN pour que le processus de copiage commence et s'arrête.

L'élongation : Ensuite, la polymérase (enzyme de copiage) est ajoutée et la température est légèrement augmentée pour qu'elle soit idéale au bon fonctionnement de l'enzyme. Elle identifie alors les amorces et commence à copier.

Le cycle entier est répété à plusieurs reprises jusqu'à l'obtention de millions de brins d'ADN. La copie d'un cycle prend environ une à trois minutes. Étant donné qu'à chaque cycle, le nombre de molécules est doublé, le nombre de molécules d'ADN après n cycles est de 2^n . L'ordre de grandeur à retenir est celui du million de copies en quelques heures le **fig.19** représente les différents étapes de PCR [9].

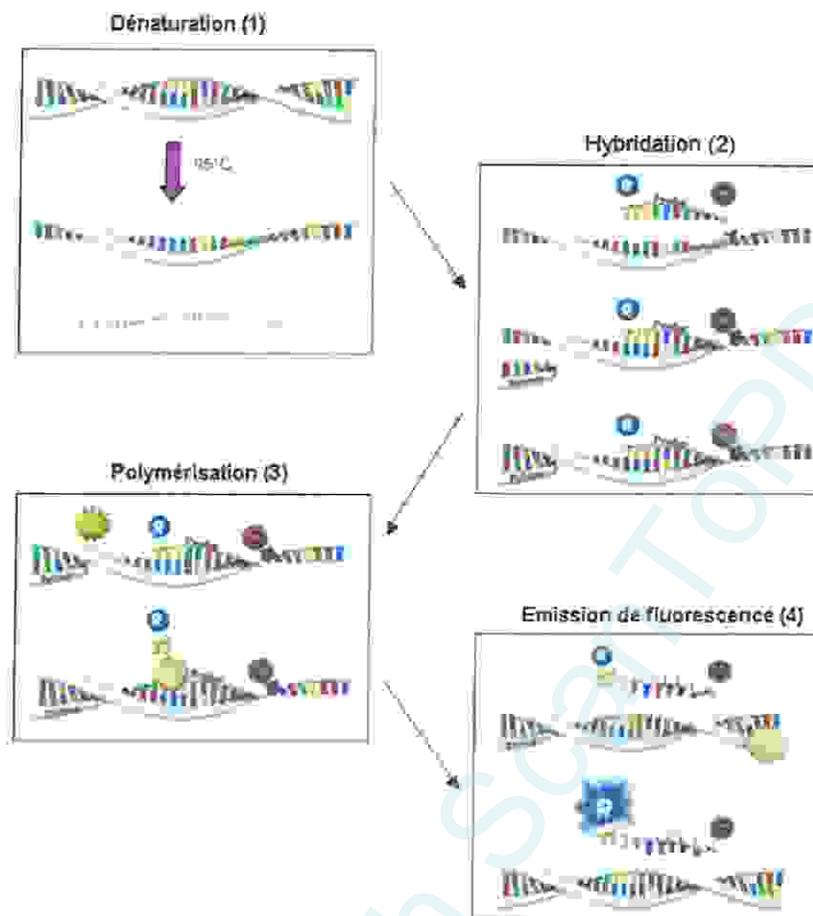


Figure.19. Les étapes de la PCR [53].

3. Les O.G.M dans le monde :

Les cultures et produits à base des O.G.M s'imposent de plus en plus dans le monde. Selon le rapport de l'ISAAA (International service for the Acquisition of Agribiotech Application) publié en janvier 2005, il y a eu dans le monde 90 millions d'hectares de cultures O.G.M soit une augmentation de 11% par rapport à 2004. Entre 2002 et 2003, l'augmentation était de 15% et de 20% l'année d'avant.

Depuis 2003, 6 pays cultivent 99% de la surface mondiale d'O.G.M :

Etats-Unis : 63%.

Argentine : 21%.

Canada : 6%.

Brésil : 4%.

Afrique du Sud : 1%.

Chine : 4% (Ayed et Bendjemil, 2008).

3.1. Les O.G.M vus par les Etats-Unis :

Les Etats-Unis ont été les premiers à banaliser les O.G.M. Depuis 1994, année de la commercialisation de la tomate, les plantes transgéniques sont devenues une réalité. Dès 1997, on recensait 34 plantes génétiquement modifiées autorisées à la vente dans le monde entier. Les raisons de cette banalisation sont :

La spécificité des O.G.M est niée, la transgénèse n'est considérée que comme une nouvelle technique d'amélioration des organismes vivants, comparable aux pratiques plurimillénaires de l'humanité. Il n'y a donc pas lieu de mettre en place un cadre réglementaire spécifique.

La transgénèse est assimilée à un progrès technique, donc mécaniquement porteuse de progrès économique et social ; s'il y a risque, il est maîtrisable par des avantages de recherches et de progrès technique.

Ce progrès technique doit servir à renforcer la position dominante des firmes de biotechnologie et de l'agriculture américaine sur les marchés mondiaux.

Les consommateurs, restés plutôt indifférents jusqu'à présent, n'ont pas d'obligation d'étiquetage (Bouchet *et al.*, 2005).

Malgré sa, il y'a des cultivateurs anti-O.G.M. En novembre 2002, l'USDA (ministère de l'agriculture des Etats-Unis) a révélé que du maïs transgénique de la firme Prodigene, manipulé pour produire de la trypsine et un autre composé antidiarrhéque, avait été retrouvé dans du soja stocké au Nebraska. A la suite de cette épisode, l'industrie agroalimentaire américaine, représentée en particulier par la puissante GMA (Grocery Manufacturers Association), craint que des gènes permettant de produire des protéines, des enzymes ou des médicaments dans les plantes se dispersent et se retrouvent dans les cultures destinées à l'alimentation humaine (Rivas et Lepage, 2002).

3.2. Les O.G.M vus par l'Europe :

Les états européens les plus intéressés d'O.G.M sont : France, Belgique, Grèce, Danemark, Luxembourg et Autriche. Les cultures génétiquement modifiées sont très peu présentes dans les pays de l'union européenne (UE), car les producteurs ne les ont pas adoptées à cause de :

La transgénèse considérée comme une nouveauté radicale dans les techniques de manipulation du vivant, en rupture avec les méthodes de sélection et d'amélioration traditionnelles (Bouchet *et al.*, 2005).

La transgénèse suscite des risques potentiels encore mal connus incitant à la prudence ou au nom du principe de précaution. Un régime juridique spécifique est donc nécessaire (Bouchet *et al.*, 2005).

Le danger potentiel suscite une inquiétude auprès des populations qui ont connus une succession de crises sanitaires avec la vache folle, le sang contaminé ou l'amiante.

Et pour cela les médecins britanniques sont contre les essais d'O.G.M en plein champ (Rivas et Lepage, 2003).

3.3. Les O.G.M en Inde :

L'Inde a eu le plus fort pourcentage de croissance annuelle en 2004 avec une augmentation de la superficie de coton Bt de 400% par rapport à 2003, passant d'environ 100.000 hectares en 2003 à 500.000 hectares en 2004 (Ayed et Bendjemil, 2008).

3.4. Les O.G.M. en Afrique :

A ce jour, sur les continents, seul l'Afrique du sud compte des surfaces relativement significatives en O.G.M avec 400.000 hectares de coton et de maïs comparés aux 90 millions d'hectares de culture des O.G.M dans le monde. En Afrique de l'Est, le Kenya s'est spécialisé dans les O.G.M des pommes de terre et de maïs et enfin en Afrique de l'ouest, le Burkina Faso est l'un des rares pays à avoir entrepris avec la firme américaine Monsanto des essais d'O.G.M dans le domaine du coton.

Aujourd'hui certains pays dont l'Egypte, le Kenya et l'Afrique du sud procèdent à des tests O.G.M. Dans la plupart des Etats du continent, c'est le silence.

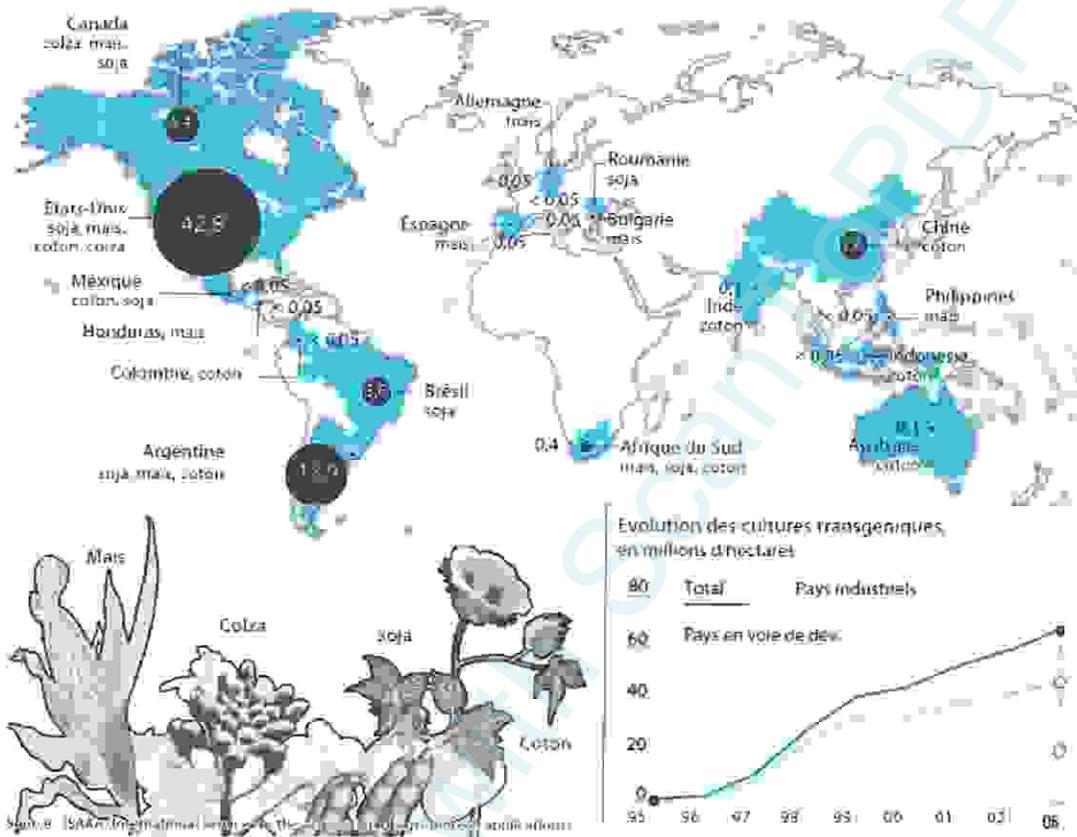
La conférence sur les biotechnologies qui s'est tenue du 21 à 23 juillet 2005 à Ouagadougou, organisée par le gouvernement américain en vue de présenter les avantages des O.G.M, atteste de la pression qui s'exerce sur le continent. A travers cette manifestation, les Etats-Unis affichent clairement leur intérêt pour le continent en ce qui concerne les O.G.M. L'Afrique se présente comme une alternative de choix pour les firmes américaines leaders en la matière (Bouchet *et al.*, 2005).

3.5. Les O.G.M. en Algérie :

A titre d'exemple, plus de 80% du soja et 40% du maïs aux Etats-Unis et dont une bonne partie est destinée à l'importation est génétiquement modifié. Le risque provient donc du fait que l'Algérie est un pays importateur de denrées alimentaires sous forme de grains de céréales, de légumineuses, d'oléagineux ou en produits finis (sucre, alimentation de bétail,

LES ÉTATS-UNIS CHAMPIONS DES CULTURES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉES

Les cultures OGM dans le monde, en 2006 en millions d'hectares



-  Les principaux pays autorise les OGM
-  La localisation des cultures transgénique

Figure.20. Production d'O.G.M dans le monde [20].

CHAPITRE III

Les impacts et les risques des OGM

Produced with Scantopdf

Les défenseurs des O.G.M voudraient nous faire croire que les trois filières agricoles qui existent actuellement peuvent cohabiter : les cultures traditionnelles, les cultures « bio » et les cultures O.G.M. On pourrait produire des O.G.M sans menacer les autres formes d'agriculture.

C'est tout simplement faux. Nous ne pouvons pas maintenir des filières parfaitement étanches. La contamination des filières traditionnelles et bios par les O.G.M est inévitable. Des exemples le prouvent. En 2009, Greenpeace Suisse a fait analyser 22 variétés de miels vendus dans le pays : plus d'un quart comportaient des traces de pollens O.G.M. En tout, depuis 1996, date d'arrivée sur le marché des O.G.M, 216 cas de contamination ont été enregistrés dans 57 pays.

La généralisation des O.G.M représente un impact pour notre environnement, pour la santé humaine et animale, pour les équilibres économiques et sociaux et d'un point de vue éthique [3].

1. Les impacts sur l'environnement :

Depuis plusieurs années déjà, des plantes dont les gènes ont été modifiés sont cultivées, puis commercialisées en Amérique du Nord. Au contraire, les pays européens ont choisi de prendre de nombreuses précautions en ce qui concerne les O.G.M. Ils essaient d'évaluer les risques potentiels de cette nouvelle technologie avant toute exploitation à grande échelle. Pour eux le plus important est de connaître ses risques et de savoir les maîtriser. Mais pour l'instant, nous ne possédons pas une véritable réponse globale concernant l'étude des risques des Organismes Génétiquement Modifiés. En effet, tout dépend de l'espèce concernée et du gène qui lui sera introduit. Aujourd'hui, nous n'avons pas encore assez de recul pour évaluer les risques envers l'environnement. Tout ces risques sont donc potentiels [3].

1.1. Transmission de gènes par pollinisation et croisements inter variétaux :

Chez les espèces végétales, les transmissions de gènes s'opèrent par des croisements sexuels. C'est surtout le pollen qui est concerné par cette dissémination : il est transporté par le vent ou bien par des insectes dits " insectes pollinisateurs ". Le problème est que cette transmission peut se faire entre plantes d'une même espèce mais aussi en direction d'espèces sauvages, les " mauvaises herbes ". Cependant, les flux de gènes se transmettent différemment selon les espèces concernées ainsi que selon l'écosystème qui les entoure. La seule approche raisonnable est donc l'étude du cas par cas. Afin de mesurer la fréquence des échanges de

gènes dans un écosystème, au milieu des cultures et des mauvaises herbes, trois estimations ont été produites :

- la distance que le pollen couvre en se dispersant (nous prendrons du pollen de trois cultures : colza, betteraves et maïs).
- la possibilité de croisements entre les variétés de chaque culture.
- la possibilité de croisements entre les cultures et les espèces environnantes [28].

1.2. L'apparition d'insectes résistants aux plantes transgéniques :

Les plantes génétiquement modifiées pour s'autoprotéger contre un insecte (comme le maïs résistant à la pyrale) pourraient susciter l'apparition d'insectes résistants à ces plantes transgéniques **fig.21**.

Il existe des indices de probabilité de réalisation de ce risque, qui ne découlent pourtant pas des plantes génétiquement modifiées, mais bien des méthodes utilisées classiquement en agriculture. En effet, la toxine produite par la bactérie *Bacillus thuringensis*, (dont la synthèse est par ailleurs obtenue par génie génétique dans le " maïs Bt ") est utilisée dans différents pays, dont la France, notamment en agriculture biologique, sous forme de bio-pesticide. Or, dans certains pays (Malaisie, Japon, Hawaï), son application répétée, sous forme de pesticide, a entraîné la sélection de populations de ravageurs capables de résister à l'action de ce produit. Il n'est pas impensable qu'un phénomène identique se produise avec les plantes transgéniques, même si le taux de présence de cette protéine est inférieur lorsqu'elle est " interiorisée " dans la plante transgénique, par rapport à la concentration plus forte en cette protéine du pesticide utilisé actuellement en épandage sur les végétaux.

Il est donc concevable qu'un jour les pyrales, par exemple, puissent résister au " maïs Bt ". Ce risque est, là encore, parfois analysé comme un risque de nature plutôt économique, puisque sa réalisation aurait pour principal effet de diminuer l'intérêt des plantes transgéniques concernées et de revenir à la situation actuelle, où les moyens de lutte contre ces insectes ne sont pas totalement efficaces. Toutefois, la dimension environnementale n'est pas non plus absente de cette problématique puisque l'éventualité de l'apparition de telles résistances pourrait aussi conduire sur les populations d'insectes concernées, à la perte d'efficacité du bio-pesticide considéré, ce qui aurait des conséquences pour les filières qui l'utilisent actuellement.

Des plans de production incluant des zones de plantes " refuges ", non transgéniques, et donc non résistantes aux insectes ravageurs, sont d'ailleurs actuellement mis en place pour la culture de ces plantes. Ils ont pour objet de conserver, grâce au brassage des populations

d'insectes, le caractère " homozygote " d'un éventuel gène de résistance à la toxine Bt qui serait apparu chez l'insecte concerné, ce qui diminuerait sa diffusion dans l'espèce [29].



Figure.21. Le pyrale résistante à une plante transgénique [55].

1.3. L'éventuel impact sur les insectes utiles :

En effet, il est important de vérifier que les plantes transgéniques ne soient pas toxiques pour d'autres insectes dits " non ciblés ". Ce sont les insectes qui ne sont pas considérés comme " ravageurs " et qui peuvent même être bénéfiques pour l'écosystème, voire pour tout l'environnement, d'où leur nom d'insectes " utiles ". Exemples : les abeilles, les coccinelles [3].

1.3.1 L'impact sur le monarque :

Récemment a été menée aux États Unis une expérience sur le monarque, papillon d'Amérique du Nord réputé pour sa beauté, des chenilles de ce papillon ont été nourries avec des feuilles artificiellement recouvertes de pollen d'une variété de maïs rendu résistant à la pyrale par l'introduction dans son génome d'un gène commandant la production d'un insecticide. Ces chenilles ont connu une croissance plus lente et une mortalité plus élevée que d'autres nourries de feuilles recouvertes de pollen de maïs non génétiquement modifié. L'expérience a donc démontré le « danger » encouru par le papillon fig.22. [30].



Figure.22. La nourriture d'un monarque sur une plante transgénique [56].

1.3.2. L'impact des O.G.M sur les abeilles :

Des insectes utiles comme les abeilles, pollinisatrices, risquent d'être affectés par le développement des plantes transgéniques voir **fig.23**. On parle alors d'effet sur les insectes " non cible ", c'est-à-dire sur ceux qui ne sont pas visés par la modification génétique, mais sur qui pourrait néanmoins influencer le changement de métabolisme de la plante. Des études portant sur des colzas résistants à un herbicide ont été menées à l'INRA depuis 1990 et n'ont pas permis de mettre en évidence, pour l'instant, d'effets sur la mortalité des abeilles, non plus que sur leur comportement de butinage [31].



Figure.23. La nourriture d'abeille sur une plante transgénique [57].

1.4. Le risque de contamination d'autres cultures agricoles :

Si on rend les plantes plus résistantes envers les insectes ravageurs ou les herbicides, les cultures nécessiteront moins d'interventions de la part de l'agriculteur, d'où une simplification du travail. L'agriculteur devra donc faire un autre travail : veiller à la traçabilité des O.G.M pour répondre au choix des consommateurs. Il doit être dans la capacité de garantir aux acheteurs la séparation des lots transgéniques voir **fig.24**. En effet, il est difficile de garantir qu'une parcelle voisine n'a pas contribué à la fécondation. De plus avec le pollen certaines cultures biologiques peuvent être "polluées" par les O.G.M et ainsi un agriculteur peut perdre un label durement acquis [3].

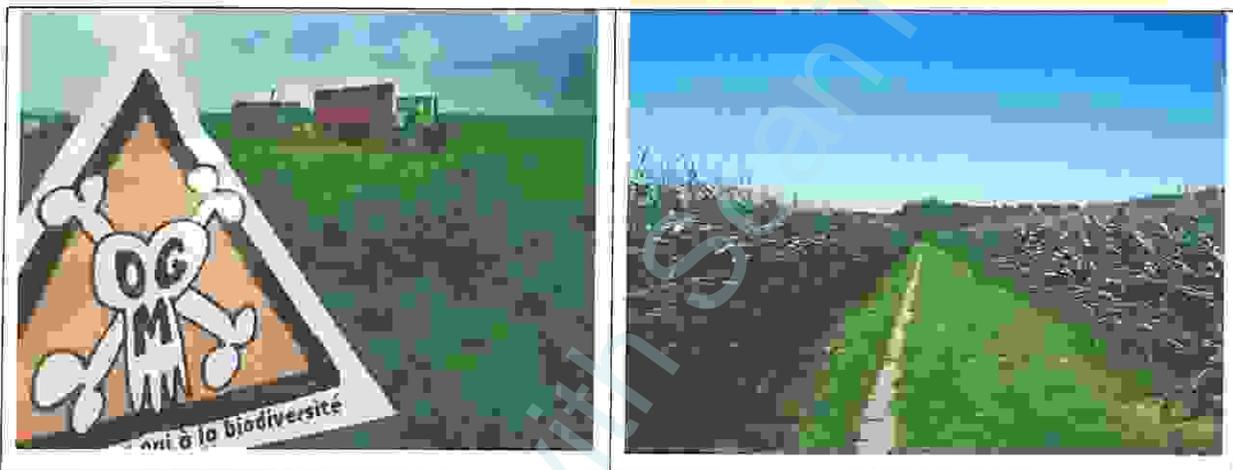


Figure.24. Le risque de contamination d'autres cultures agricoles [58].

1.5. Risque de réduction de la biodiversité :

Certains scientifiques estiment que la diffusion de la biotechnologie conduira à un appauvrissement de la diversité génétique, en conférant un même gène à de nombreuses espèces. Cet effet serait un facteur de vulnérabilité pour les cultures. Notons que d'autres pensent, au contraire que l'utilisation de transgénèses peut être un moyen d'augmenter la diversité génétique, en créant à partir de la même structure plusieurs plantes différentes ayant chacune des spécialités propres à elle seule, grâce à l'apparition de nouveaux gènes (Bouchet *et al.*, 2005).

- **Cas du saumon transgénique :**

Aujourd'hui, aucun animal transgénique n'est autorisé à la consommation. Cela n'empêche pas la recherche de proposer chaque année toujours plus de nouvelles créatures. C'est en

pisciculture qu'elle est la plus active. Une firme américaine, A/F Protein, a manipulé des saumons atlantiques en leur ajoutant un gène de production d'hormone de croissance prélevé sur une autre espèce de poisson : le flet. voir fig.25.

Ces saumons se développent 2 à 3 fois plus vite que les saumons normaux. La taille plus importante de ces saumons transgéniques leur confère un avantage reproductif par rapport aux espèces conventionnelles, car les femelles sont davantage attirées par les mâles plus gros. De plus, l'amélioration de leur croissance augmente leurs besoins alimentaires quotidiens.

La dissémination de saumon transgénique en milieu naturel causerait des dommages irréversibles aux populations de poissons sauvages. Ces prédateurs pourraient avoir un effet dévastateur sur l'environnement naturel. Actuellement, toute modification génétique de poissons à des fins commerciales est interdite [32].

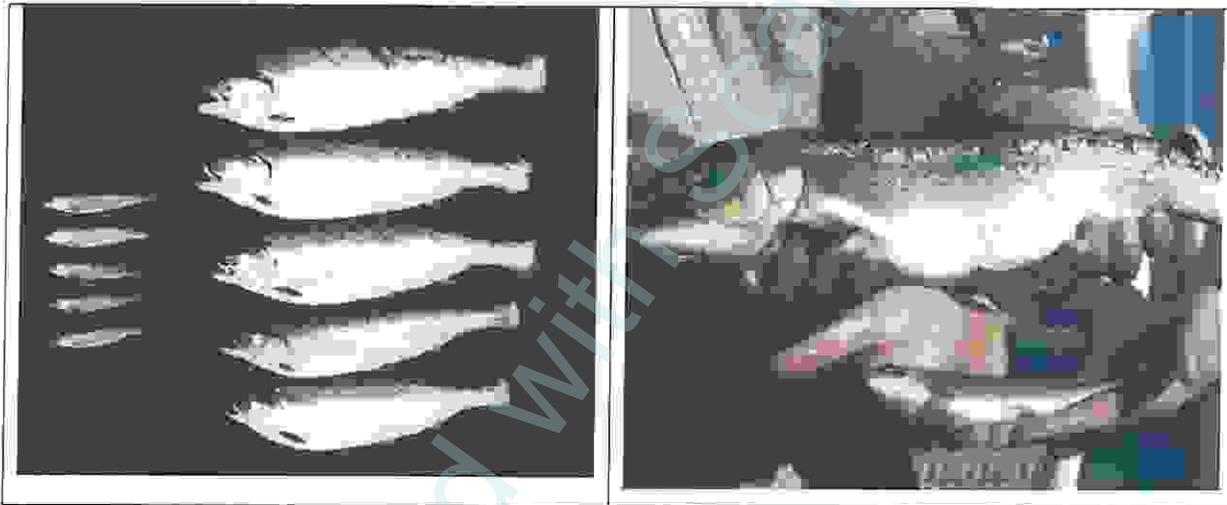


Figure.25. La comparaison entre un saumon naturelle et un saumon transgénique [59].

1.5.1 Risque de disparition de la notion d'espèce :

Les manipulations génétiques permettent de prendre un ou plusieurs gènes d'une espèce quelconque et de les introduire dans une autre espèce. On peut ainsi, comme dans un Lego, prendre des pièces dans différentes espèces, et les assembler pour créer de nouvelles espèces. A la vitesse à laquelle évoluent ces sciences, qui jouent avec les mécanismes fondamentaux de la vie, il est à craindre que l'on obtienne dans un avenir proche des Frankenstein mi-animaux mi-végétaux. Le risque est donc de voir disparaître la notion même d'espèce. On ne parlera plus de colza ou de maïs, mais d'organisme producteur de telle ou telle molécule [4].

1.5.2. Risque de pollution génétique :

Le risque écologique résulte de croisements accidentels entre plantes O.G.M et plantes cultivées ou sauvages.

La reproduction sexuée des plantes se fait par pollinisation (dépôt de pollen issu de l'organe mâle sur l'ovule de la plante femelle). Le pollen, vecteur de cette dissémination, est transporté par le vent ou par les insectes pollinisateurs.

Le transgène d'un O.G.M est présent dans l'ensemble des cellules de la plante transformée, y compris dans les cellules reproductrices. Par conséquent, il confère à la plante un caractère susceptible d'être transmis, comme n'importe quel gène, lors d'un croisement avec des plantes non modifiées.

Cette propagation est inévitable, puisque les plantes contaminées ont la faculté de se reproduire et de se multiplier à l'infini. Le contrôle de la pollution transgénique nous échappe totalement et nous n'en connaissons pas les conséquences pour les écosystèmes [32].

1.6. L'impact sur la rhizosphère :

La rhizosphère est la partie du sol qui est située le plus à l'extérieur dans la croûte terrestre; elle est située dans l'environnement immédiat des racines des plantes. Elle est donc très riche en micro-organismes et en substances biologiques. Il ne peut être donc complètement exclu qu'un jour, les plantes modifiées produisent un impact sur cet environnement sub-terrestre. Néanmoins, tout biotope est un milieu évolutif, et donc la rhizosphère également. Les populations de micro-organismes y évoluent de façon très réversible en fonction des hôtes présents et des conditions ambiantes [28].

Lorsqu'il s'agit d'O.G.M résistant à un herbicide, les cultivateurs peuvent utiliser sans discernement celui-ci, polluant encore davantage le sol et l'eau.

Dans la région de Montréal, où la culture du maïs Bt est très développée, on s'est aperçu de la présence en quantité inhabituelle de toxine Bt dans les cours d'eau autour des champs d'O.G.M, comme si le gène était repassé dans des bactéries [33].

2. Les impactes sur la santé :

2.1. Risques potentiels pour la santé humaine :

Comme pour ceux concernant l'environnement, les risques de consommation d'O.G.M chez l'homme restent encore théoriques car il n'existe aucun recul, vu le caractère récent de cette consommation. De nombreuses recherches sont effectuées pour recenser les risques

"potentiels". Cependant, cette recherche limitée, sans recul, ne peut suffire pour rassurer le consommateur, touché récemment par l'apparition de la maladie de Kréutzfeld Jacob (maladie de la Vache Folle). 63 % de sondés pensent que la consommation d'O.G.M possède un caractère dangereux. Il est donc primordial que les recherches s'accélèrent afin d'évaluer les véritables risques [3].

2.1.1. Risques de résistance aux antibiotiques :

Un des problèmes qui a été l'objet de nombreux débats est celui de la diffusion des gènes de résistance aux antibiotiques que contiennent certaines plantes transgéniques. Les plantes transgéniques peuvent certes disséminer leurs transgènes mais dans certaines conditions seulement (Stewart *et al.*, 2003).

Le transgène d'intérêt n'est, en général, pas le seul à être intégré dans un O.G.M. On utilise un gène marqueur, permettant de repérer les cellules végétales modifiées (nécessaire car le rendement de la transgénèse est très faible : une cellule transformée pour un million de cellules traitées).

Les premiers gènes marqueurs utilisés ont été des gènes conférant une résistance à un antibiotique. Lequel est utilisé lors de la multiplication du transgène, pour sélectionner les bactéries l'ayant intégré. Le maïs Bt contenait par exemple le gène de résistance à l'ampicilline. Se posait alors la question de savoir si ce gène pouvait se transmettre à une bactérie de la panse d'un ruminant (qui consomme les feuilles dans lesquelles s'exprime la protéine) et provoquer l'apparition d'une résistance à cet antibiotique.

Face à cette hypothèse d'un possible transfert de gène à des bactéries intestinales, les travaux se poursuivent pour trouver des alternatives : utilisation d'autres gènes marqueurs, comme celui induisant l'expression d'une protéine fluorescente, ou l'obtention de la suppression de ce gène marqueur dans la plante ou la partie de plante mature entrant dans l'alimentation [26].

2.1.2. L'accumulation de certains herbicides dans la chaîne alimentaire :

La toxicité à long terme des résidus d'herbicides peut s'accumuler dans la chaîne alimentaire. En effet, la majorité des plantes transgéniques sont modifiées pour les rendre tolérantes à des herbicides totaux. Lorsqu'une plante est naturellement résistante à un herbicide, elle va le métaboliser, c'est à dire le détruire complètement et il n'en restera plus aucune trace. Mais lorsque la plante est rendue résistante à un herbicide, le problème est en fait tout autre :

Soit ces plantes ont vu leur patrimoine génétique modifié au niveau de l'enzyme cible de l'herbicide (probablement la forme du site actif a-t-elle été modifiée). L'herbicide ne peut donc plus agir sur la plante mais le problème réside dans le fait que la plante est alors incapable de métaboliser l'herbicide et que celui-ci s'accumule dans les récoltes, notamment dans les zones de croissance et de réserve puisqu'il se déplace de la même manière que les produits de la photosynthèse. C'est le cas des plantes résistantes au glyphosate comme par exemple le Round Up dont on connaît le caractère mutagène et cancérigène ou le Basta dont le caractère neurotoxique est démontré.

Soit la résistance est due à l'introduction d'un gène de métabolisation bactérien et dans ce cas, l'herbicide sera éliminé. C'est le cas pour les plantes transgéniques résistantes aux herbicides déjà utilisée dans certains pays comme par exemple les plantes résistantes au glufosinate (matière active de désherbants totaux) : cette fois les plantes transforment l'herbicide en un métabolite qui s'accumulera dans les récoltes. Mais se pose alors un problème d'homologation des herbicides totaux qui ne l'étaient alors que pour les bordures de chemin, n'étant pas utilisés dans les champs. Cette ré-homologation consiste en l'évaluation des risques de résidus à l'intérieur des plantes destinées à la consommation [3].

2.1.3. Les risques d'allergie :

- **Le potentiel allergène des OGM :**

La première source d'allergie possible par les O.G.M est liée à l'insertion d'un gène qui synthétiserait une protéine allergène. Autrement dit, l'O.G.M recevant un gène extérieur peut devenir allergène. Dans le cas des O.G.M, le caractère "caché", car directement inséré dans le génome d'une plante, est plus nuisible.

Ainsi, une personne allergique à un produit donné X, risque de déclencher une réaction allergique en consommant un quelconque produit Y dans lequel le gène allergisant de X a été inséré.

Ce cas n'est pas un simple cas d'école. En effet, en 1996, l'entreprise Pioneer Hi-Bred a transplanté un gène de la noix du Brésil dans le génome d'un soja destiné au fourrage. Le but était de donner à ce soja une meilleure composition protéique (augmentation de la teneur en méthionine). Or, des recherches ont révélé que le gène inséré codait pour la production de la protéine responsable de l'allergie à la noix du Brésil chez l'homme. Dans ce cas précis, où une étude poussée démontrant le risque allergénique a eu lieu, le danger a pu être écarté : Pioneer a décidé de ne pas commercialiser cette variété de soja. Cependant, pour un O.G.M détecté comme produisant un allergène connu, combien ne le sont pas lors des procédures

d'autorisations ? En effet, ces dernières n'imposent pas de tests toxicologiques chroniques et, aux Etats-Unis comme au Canada le principe de l'"équivalence substantielle" domine en matière d'autorisation. Ce principe, défini par l'OCDE en 1993, se fonde sur l'idée que les produits alimentaires qui ont fait la preuve de leur innocuité peuvent servir de référence. La comparaison entre cette référence et un aliment transgénique permet de déterminer s'il y a ou non équivalence en substance. Ce principe permet donc de classer au même rang un aliment issu d'O.G.M et un aliment conventionnel, si les taux de nutriments du produit transgénique équivalent à ceux du produit conventionnel. Ce concept est régulièrement critiqué par des scientifiques, par exemple par une équipe gouvernementale hollandaise qui estime que l'analyse de la composition chimique d'un aliment ne suffit pas à prouver l'introduction de nouveaux risques génétiques, biochimiques, immunologiques" qui pourraient lui être inhérents [34].

- **Risques liés aux aliments GM allergènes :**

Les allergies alimentaires sont en augmentation de 10% par an, sont fréquentes dans tous les pays développés, avec une moyenne générale de 3 à 4% par la population générale et de 8% chez les enfants de moins de 6 ans. Les aliments concernés appartiennent à 8 groupes : cacahuète, soja, fruits à coques, lait, œuf, poissons, crustacés et blé. La liste d'allergène n'est tout fois pas limitée.

Il n'est pas exclue que les A.G.M ou issus d'O.G.M puissent être sources d'allergies alimentaires, soit par insertion d'un gène qui conduirait à la synthèse d'une protéine allergique soit par modification du fonctionnement du métabolisme ou certains gène de l'organisme receveur générant la production d'une nouvelle protéine susceptible de provoquer des allergies. Le système immunitaire de l'Homme est d'une grande complexité, à partir du moment où il est en présence de substances particulières, nul ne sait comment il va réagir (Moll *et al.*, 2000).

Les risques cliniques qui menacent les consommateurs d'aliments GM auxquels ils sont allergiques varient de réactions allergiques mineures à des réactions allergiques graves, y compris l'anaphylaxie mortelle. Mais dans le cas d'un aliment GM allergène qui vient à faire partie intégrante du régime alimentaire, comme denrée alimentaire ou additif, force est de constater l'existence d'un risque moins évident. En fait, l'ingestion répétée d'un tel aliment par une population atopique susceptible (c'est-à-dire, génétiquement prédisposée à la production d'IgE, et par conséquent, de développer des allergies) pourrait entraîner chez un grand nombre de personnes une nouvelle allergie à l'aliment GM en question. Signalons aussi

la possibilité, chez les personnes qui manipulent les aliments ou les aliments pour le bétail, de développer une allergie professionnelle ou l'asthme professionnel à la suite de l'exposition répétitive à des protéines, soit par contact ou par inhalation des protéines [35].

2.1.4. Qualité nutritionnelle des aliments :

La modification du génome des plantes pourrait également avoir des effets indirects sur la qualité nutritionnelle et sanitaire des aliments, dans quelle mesure le gène introduit interfère-t-il avec les autres gènes de la plante, provoquant des effets secondaires imprévus, notamment une modification de la composition et de la valeur nutritionnelle des aliments (Tourte *et al.*, 2002).

2.1.5. Les intoxications :

Les risques toxiques liés à la consommation des O.G.M peuvent être liés à plusieurs facteurs qui sont :

- La nature du produit dont la synthèse est commandée par le transgène.
- La modification du métabolisme et par conséquent la composition de la plante.

Ceci est dû aux effets biologiques du transgène qui modifie la structure génétique de la plante. En effet, le transgène peut interférer avec certains métabolismes naturels de la plante, ou léser certains constituants de sa structure.

- La modification de la métabolisation de substances chimiques (surtout des herbicides) auxquelles la plante transgénique est tolérante. Dans le cas où les plantes transgéniques résistent aux herbicides, ces derniers persistent sur la plante et de nouveaux métabolites peuvent apparaître. Les plantes peuvent en revanche être modifiées afin de dégrader rapidement ces herbicides. Par conséquent, l'enzyme de dégradation de l'herbicide engendre de nouveaux métabolites, demandant une voie de dégradation différente autant pour l'environnement que pour les organismes qui les ingèrent.
- L'augmentation du taux de pathogènes sur les plantes génétiquement modifiées pour résister à ces derniers. Par conséquent, l'augmentation potentielle de ces substances toxiques peut être encore néfaste lors de l'ingestion.

Quelques exemples de toxicité engendrée directement par les O.G.M à pesticides sont mis en évidence dans cette section. L'utilisation des O.G.M résistants aux herbicides peut provoquer plusieurs problèmes. Les seuils tolérés de résidus toxiques des herbicides ont été augmentés

en raison de l'accroissement de leur utilisation pour les cultures transgéniques, alors que les conséquences sur l'environnement et la santé ne sont pas négligeables. Les deux tiers des O.G.M ont été modifiés pour ne plus être détruits par l'action des désherbants, tels que le glyphosate et le glufosinate (les deux principaux désherbants totaux utilisés). La détermination des seuils des résidus maximaux admissibles est relativement théorique et dépend de la nature des expérimentations menées et de la politique. Depuis l'utilisation des O.G.M résistants aux pesticides, les seuils des herbicides ont beaucoup augmenté : c'est le cas en Australie, où ce seuil a augmenté de 200 fois. En parallèle avec cette augmentation de l'utilisation de cet herbicide, il a été déterminé que le glyphosate serait la troisième cause de maladie liée aux pesticides parmi les agriculteurs, selon le département de santé de l'université de Californie. De plus, certains pesticides induisent des effets sur le système endocrinien en mimant des hormones ou des neurotransmetteurs (c'est-à-dire qu'ils ont le même rôle que les hormones ou les neurotransmetteurs, ils engendrent donc des dérégulations). Actuellement, des tests ne sont pas encore élaborés pour obtenir l'autorisation des O.G.M, mais des chercheurs aux États-Unis travaillent dessus [36].

2.1.6. Risques des pesticides au aliment génétiquement modifié :

Les plantes O.G.M qui sont manipulées génétiquement pour devenir résistantes aux pesticides développés et patentés par la même firme. Cette résistance peut se transférer sur de mauvaises herbes et des " super mauvaises herbes " se développent alors. Ceci entraîne un emploi plus élevé en pesticides ou de pesticides de plus en plus forts pour les cultures O.G.M. Ainsi le volume des pesticides employés dans le monde a été augmenté ces dernières années parallèlement avec le culture des O.G.M.

Les pesticides peuvent avoir un impact sur la santé des femmes, des hommes et des enfants. Plus le contact est intense, plus les risques pour la santé augmentent par exemple par l'exposition au travail, en habitant dans une zone à agriculture massive, lors de leur emploi sur la place de jeux, dans la maison ou dans le jardin, ou par l'ingestion de résidus de pesticides avec les A.G.M.

Les études qui analysent l'impact des pesticides, souvent ne se penchent que sur une seule substance, ce qui peut influencer le résultat de l'étude. Dans la vraie vie nous sommes exposés à un cocktail de substances chimiques. Dans ce cas là les risques ne s'additionnent pas seulement, mais peuvent s'amplifier [37].

- **Neurotoxicité des pesticides pendant la grossesse :**

Cette étude analysait les effets toxiques des pesticides employés en Europe sur le système neurologique du bébé à naître. Les chercheurs arrivent à la conclusion que les études épidémiologiques prouvent des effets nuisibles sur le développement neurologique et que des études en laboratoire démontrent la neurotoxicité des pesticides. Ils revendiquent par prévention d'omettre tout contact humain avec des pesticides ou leur résidus dans l'A.G.M ou l'alimentation de façon général, jusqu'à ce que plus de résultats scientifiques soient disponibles [37].

- **Autisme et pesticides :**

Des études montrent une relation probable entre l'influence à une exposition aux pesticides et aux biocides consommés avec les A.G.M durant la grossesse et un risque accru de symptômes du spectre autistique chez ces enfants. Si des champs dans un entourage de 500 mètres autour du lieu de résidence de la mère étaient aspergés avec des pesticides durant le développement du système nerveux central du bébé à naître, il avait un risque accru de développer de l'autisme [37].

- **Alimentation bio réduit l'exposition aux pesticides :**

Cette étude a été faite aux Etats-Unis sur des enfants d'âge préscolaire. Le taux des résidus de pesticides dans les urines des enfants à alimentation conventionnelle était six à neuf fois plus élevé que celui trouvé dans les urines des enfants à alimentation biologique. Les scientifiques prouvaient que l'exposition des enfants aux pesticides pouvait être réduite à une limite très inférieure aux seuils de vigilance émis par l'Agence de la protection environnementale des Etats-Unis en leur donnant des fruits, légumes et jus provenant de l'agriculture biologique. Une consommation issue de l'agriculture conventionnelle faisait dépasser ces seuils et les exposaient à un risque [37].

2.1.7. Les maladies auto immunes :

Certaines maladies auto-immunes sont secondaires à l'apparition de complexes immuns circulants formés de substances étrangères fixant des anticorps spécifiques développés contre ces substances extérieures. Les nouveaux aliments O.G.M, leurs virus, ne peuvent-ils pas passer la barrière digestive et ne peuvent-ils pas créer des phénomènes identiques ? S'il n'en est pas ainsi pour les aliments habituels que l'Homme a connus peu à peu dans son évolution millénaire, c'est parce que nous avons appris à créer des enzymes adaptées à les disséquer

dans notre tube digestif avec l'aide du pancréas notamment. Ces enzymes ont été acquises peu à peu, au cours de l'évolution, et notre corps sait les fabriquer, au jour le jour, en fonction des aliments ingérés. Encore faut-il que l'organisme ait eu un jour connaissance de ces aliments. Il est donc fort probable que le corps mette un certain temps avant d'apprendre à dégrader les brins d'ADN manipulés. Ce qui renforce conséquemment les risques de pénétration digestive, d'allergies et de maladies auto-immunes [9].

2.2. Risques potentiels pour la santé et la protection des animaux :

Les modifications inhérentes aux animaux transgéniques peuvent entraîner des changements indésirables chez l'animal, sur les plans physiologique et comportemental. Signalons, par exemple, un niveau de vulnérabilité accru d'un animal à la maladie par suite de l'altération du niveau de production d'une protéine naturelle ou génétiquement modifiée [35].

2.2.1. Les Poissons :

La force est de constater le peu d'information sur les effets de la transgénèse en ce qui a trait à la santé et au bien-être des poissons. Dans l'ensemble, la documentation existante traite des effets délétères de la transgénèse sur la morphologie des poissons, leur capacité respiratoire et leur locomotion par suite de l'introduction de gènes recombinants de l'hormone de croissance (HC) dans certaines variantes génétiques de salmonidés, notamment le saumon coho et le saumon de l'Atlantique [35].

- **Changements de la cellularité musculaire, de l'activité enzymatique et de l'expression Génétique :**

La transgénèse affecterait la cellularité musculaire et l'activité enzymatique musculaire du saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) contenant un gène recombinant de l'hormone de croissance. L'activité de deux enzymes dans le muscle blanc – la phosphofructokinase et la cytochrome-oxidase – a affiché une augmentation de 275% et 31% respectivement chez les poissons transgéniques. Cette constatation correspond à l'hypothèse selon laquelle le muscle des poissons transgéniques manifeste une activité glycolytique et aérobie supérieure à celle du muscle des poissons non transgéniques.

On a aussi démontré que l'insertion de gènes chimères simples peut influencer sur l'activité de gènes non ciblés. Chez le saumon coho, l'expression génétique amplifiée pourrait être le fruit de niveaux élevés de transcription (protéines ribosomales et ARNt) et de modifications de l'ultrastructure musculaire (myosine à chaîne lourde et α -actine squelettique) par comparaison

avec les individus non transgéniques de ce poisson (Hill *et al.*, 2000). Du point de vue de la santé humaine, les mêmes travaux de recherche ont fait état d'une augmentation de la teneur en protéine de transport de Ca^{2+} , à savoir la parvalbumine- β , dans le saumon coho transgénique. Cette protéine a été identifiée comme étant un allergène alimentaire majeur chez les poissons (Lindstrom *et al.*, 1996).

- **Modifications de l'anatomie macroscopique :**

Les gènes chimères d'hormone de croissance peuvent causer d'importantes difformités morphologiques chez les poissons. Par exemple, Devlin *et al.* ont documenté des anomalies morphologiques du crâne, de la mâchoire et des opercules de saumons coho transgéniques. Du point de vue de la santé animale, ces anomalies affectaient la capacité des poissons transgéniques de se nourrir et d'irriguer leurs branchies de manière à favoriser un rythme respiratoire normal. Des modifications morphologiques similaires ont été constatées chez des carpes transgéniques (*Cyprinus carpio*) et chez des barbues de rivière (*Ictalurus punctatus*) injectés d'une hormone de croissance. Le développement cartilagineux exagéré des régions crânienne et operculaire a aussi été associé à un taux de mortalité plus élevé chez les descendants du saumon coho transgénique, en raison d'une diminution de leur capacité de se nourrir et d'irriguer leurs branchies convenablement. L'incidence de telles anomalies pourrait diminuer, cependant, par suite de la sélection de géniteurs dont la variabilité phénotypique manifestée par les gènes chimères nouveaux est plus restreinte [35].

- **Modifications de la capacité de locomotion et du comportement de recherche de nourriture :**

La transformation génétique par suite de l'introduction d'un gène recombinant de l'hormone de croissance aurait affecté la locomotion natatoire des salmonidés. Farrell *et al.* (1997) ont constaté que la vitesse natatoire critique de saumons coho transgénique dont la croissance a été stimulée était sensiblement plus lente que celle des poissons témoins de même taille et du même âge. La réduction de la vitesse natatoire des saumons transgéniques pourrait découler d'un retard de croissance ou de la perturbation des muscles locomoteurs ou de leur système respiratoire, circulatoire et nerveux (Farrell *et al.*, 1997). Malgré cet exemple de diminution de la vitesse natatoire de poissons dont la croissance a été stimulée, il n'est pas clair que cet effet serait généralisé. De telles réductions n'ont pas été constatées, par exemple, lors de comparaisons de saumons de l'Atlantique transgéniques avec leurs homologues témoins non transgéniques (Abrahams et Sutterlin, 1999).

L'observation de salmonidés transgéniques dans lesquels on a introduit un gène chimère d'hormone de croissance révèle une augmentation de l'activité globale de ces poissons. Cette augmentation semble être associée à un taux d'alimentation accru et à la vitesse natatoire (Abrahams et Sutterlin, 1999). Une des conséquences de l'augmentation du niveau d'activité semble être une réduction de la vigilance des poissons par rapport aux prédateurs, constat effectué également chez les salmonidés non transgéniques traités avec une hormone de croissance. (Jönsson *et al.*, 1996).

- **Autres effets pléiotropiques :**

À ce jour, la principale technique de manipulation génétique utilisée dans l'industrie aquicole privilégie les gènes chimères d'hormone de croissance. Comme le portent à croire les changements d'ordre morphologique et enzymatique décrits précédemment, il est peu probable que les répercussions d'une augmentation de la teneur en hormone de croissance seraient limitées au seul taux de croissance.

Les effets anabolisants de l'hormone de croissance sont attribuables en partie à l'activité du facteur de croissance insulinoïde I (FCI-I), une substance produite par le foie et les cellules périphériques pour promouvoir la mitose ou la différenciation des fibroblastes, des préchondrocytes et autres cellules essentielles pour le développement de nouveau tissu squelettique et cartilagineux (Goodman, 1993). Outre les effets directs de l'hormone de croissance sur le métabolisme des cellules cibles dans le tissu adipeux, hépatique, musculaire et pancréatique, l'hormone de croissance peut aussi exercer des effets délétères indirects sur la santé des poissons transgéniques. Par exemple, Goodman (1993) a signalé que l'hormone de croissance peut affecter la sensibilité de cellules à d'autres hormones, voire la production d'autres hormones, comme l'insuline et les catécholamines. En fait, Mori et Devlin (1999) ont signalé des réductions allant de 50 % à 83 % de la taille de l'hypophyse de saumons coho transgéniques par rapport à des saumons-témoins non transgéniques, bien qu'on ignore si pareils changements influent sur l'activité des hormones autres que celles qui sont associées à la croissance [35].

3. Les impacts sur les équilibres économiques et sociaux :

Un des risques économiques majeurs découlant du développement des biotechnologies vient de ce qu'elles peuvent entraîner une perte de débouchés et de sources de revenu pour les PVD, en permettant la synthèse de substances qui sont pour l'instant extraites de produits commercialisés par ces pays. Ainsi, la production de divers types d'acides gras dans du colza

transgénique pourrait avoir pour conséquence de réduire considérablement les exportations d'huile de palme ou de coprah, sources importantes de revenus de nombreux PVD. Ce type de problème n'est pas nouveau : la culture intensive de la betterave en Europe a porté un rude coup aux pays producteurs de cannes à sucre, sans pour autant conduire à la disparition de cette culture. L'arôme de vanille produit industriellement vient de la même façon concurrencer la production naturelle de vanille. Dans le même ordre d'idée, la biodiversité, notamment spécifique et génétique, est bien plus grande dans les pays du sud. Les grandes firmes pharmaceutiques utilisent les plantes médicinales traditionnelles des pharmacopées locales pour en extraire les principes actifs qui sont ensuite protégés par brevet. Malgré la convention de Rio de 1992, les pays du sud ne reçoivent pas ou très peu de compensation en échange de leur matériel génétique (Casse et Breitler, 2001).

3.1. Risques pour les cultures non transgéniques de la même espèce :

Le risque de flux de gènes vers les cultures non transgéniques de la même espèce est celui d'affecter la pureté des productions. Ceci poserait problème pour les productions garanties sans O.G.M, a fortiori les cultures biologiques et alimente le débat actuel sur les AOC. Pour rendre possible la coexistence entre divers modes de production, en acceptant de faibles taux de présence fortuite, la solution envisagée est d'exiger un isolement des cultures. L'éloignement est basé sur la distance parcourue par le pollen. Un seuil d'exemption d'étiquetage en cas de présence fortuite d'O.G.M de 0,9% correspond à un compromis politique entre les agriculteurs biologiques qui demandent aucune contamination et les semenciers [3].

3.2. Risque d'accentuation de la dépendance du monde agricole :

Les grandes firmes de l'agrochimie, de la transformation et de la distribution agricole (Monsanto, Bayer CropScience, Syngenta, DuPont...), jouent un rôle de plus en plus important dans le contrôle et l'orientation de l'évolution du secteur agro-alimentaire dans les pays où les O.G.M sont cultivés sur des surfaces importantes (États-Unis, Argentine, Brésil, Canada).

La capacité de développer et d'introduire les biotechnologies étant quasi exclusivement sous le contrôle d'une douzaine de grandes firmes agrochimiques privées, le recours aux biotechnologies ne pourrait servir d'autres intérêts que ceux de ces firmes. Aussi, quand bien

même les biotechnologies permettrait quelques succès, on semble en droit de se questionner sur le risque d'augmentation de la dépendance des pays dits du Sud aux pays industrialisés. Pour les variétés transgéniques résistantes aux herbicides, l'agriculteur, en achetant les semences doit aussi acheter l'herbicide à la même entreprise, d'où une perte de liberté. Cette perte de liberté est déjà connue dans le cas des sucreries ou des brasseries, qui se doivent de suivre un cahier des charges strict en échange d'un débouché et d'un prix. Cette perte de liberté n'est acceptable que si l'agriculteur y trouve un avantage. En outre, des contrats sont établis entre entreprises semencières et agriculteurs obligeant le rachat de semences chaque année (Gallais et Ricroch, 2006).

CONCLUSION

Produced with ScanTOPDF

CONCLUSION

La technique de transgénèse est encore en pleine évolution et de nombreuses questions restent en suspens. On constate qu'elle présente de nombreux avantages mais également des risques non négligeables. Utilisées de façon appropriée, les O.G.M pourraient apporter de nombreux moyens pour contribuer à l'alimentation des conditions de vie. Cependant la rapidité avec laquelle peuvent survenir les modifications entraînées par le génie génétique peut avoir des effets encore inconnus.

Le développement technologique intéresse directement la population. Dans la plupart des cas, les interrogations relatives aux O.G.M sont en lien avec l'environnement. Quant aux processus d'obtention de ces derniers, c'est la transformation du vivant qui fait l'objet des préoccupations et soulève des questions de nature éthique sur l'impact que l'avènement de cette nouvelle technologie peut avoir sur la société et sur les individus qui la composent.

Il y aurait moins de controverse et le débat serait plus constructif si les applications des O.G.M étaient évaluées de façon exhaustive et transparente, et si leurs répercussions éventuelles étaient prises en considération. Le génie génétique, comme toutes les innovations scientifiques peut aboutir au pire comme au meilleur. Mais les inquiétudes qui empêchent la réflexion et l'étude, à moyen et long terme, des conséquences des modifications du vivant sont mauvaises conseillères.

RECOMMANDATION

Durant toute notre vie, nous sommes exposés à un nombre toujours croissant de produits alimentaires et des produits à O.G.M. La vigilance s'impose donc et justifie le renforcement du contrôle des produits destinés à notre alimentation.

Il faut apprendre à lire les étiquettes et faire preuve de prudence et de jugement, pour s'assurer de consommer un aliment qui corresponde le plus possible à ce que doit-être un aliment naturel, c'est-à-dire un aliment favorisant la santé.

Pour une alimentation saine, on peut manger des aliments non transgéniques (naturel), mais il faut surtout manger équilibré.

Les raisons pour manger *Bio* sont multiples : on veut préserver sa santé, préserver la nature, respecter la vie animale, ou tout simplement suivre la nouvelle mode. De même les comportements des consommateurs sont multiples : certains achètent presque exclusivement des produits *Bio*, d'autres plus ou moins occasionnellement. Beaucoup réservent le *Bio* aux enfants

L'augmentation en consommation de produits d'alimentation *Bio* entraîne un développement de l'agriculture biologique qui va permettre de réduire la pollution des sols par les divers pesticides, engrais et autres produits chimiques utilisés massivement dans l'agriculture traditionnelle.

PERSPECTIVES

Pour une meilleure santé de l'homme et de la planète, il faut promouvoir une alimentation *Bio*/écologique équilibrée. Trouver des moyens de mettre le *Bio* à la portée de tous tout en préservant un esprit de commerce équitable même en local.

Résumé

L'Homme peut aujourd'hui transférer des êtres vivants en intégrant dans son patrimoine génétique des gènes ayant des propriétés souhaitées, pour obtenir ce que l'on appelle organismes génétiquement modifiés (O.G.M).

Les organismes génétiquement modifiés peuvent avoir des répercussions positives, dans différents domaines tels que l'augmentation des rendements agricoles, l'amélioration nutritionnel, la thérapie génique, la production des médicaments et la dépollution de l'environnement. Mais malheureusement, dans certaines circonstances leur utilisation représente également un danger pour l'homme, l'environnement, et danger économique.

Mots clés :

O.G.M, impact des O.G.M, menace des O.G.M, risques des O.G.M, avantages et inconvénient des O.G.M, biotechnologie, la sante.

Produced with ScanTOPDF

الملخص:

يمكن للإنسان اليوم أن يغير الكائنات الحية وذلك بإدخال جينات ذات خصائص مرغوب فيها داخل تركيبها الوراثية، للحصول على ما نسميه بالكائنات المعدلة وراثيا.

الكائنات المعدلة وراثيا يمكن أن تكون لها أثر إيجابي في مجالات مختلفة مثل زيادة المحاصيل الزراعية، تحسين التغذية، العلاج الجيني، إنتاج الأدوية ومكافحة تلوث البيئة، لكن لسوء الحظ في ظروف معينة فإن استخدامها يمثل أيضا خطرا على الإنسان وبيئته وكذلك على الاقتصاد.

كلمات المفتاح:

الكائنات المعدلة وراثيا (OGM)، أثر الكائنات المعدلة وراثيا (OGM)، تهديد الكائنات المعدلة وراثيا، خطر الكائنات المعدلة وراثيا، محاسن ومساوئ الكائنات المعدلة وراثيا، التكنولوجيا الحديثة، الصحة.

Produced with Scantopdf

Bibliographie

Les ouvrages

Abrahams M.V., Sutterlin A., 1999. The foraging and antipredator behavior of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon. *Anim. Behav.* 58 : 933–42.

Ayed N., Bendjemil H., 2008. Impact des organismes génétiquement modifier (OGM) sur l'homme, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Biologie, université de 08 mai 1945 Guelma. 57 p.

Bouchet P., Hugon J., Maynadier A. et Mortier Y., 2005. Les OGM en question. Educargie.151p.

Casse F., Breitler J. C., 2001. OGM : Description, Méthodes d'obtention, domaine D'application. France Agricole,166p.

Christine L., 2006. La transgénèse : cour de génétique moléculaire (3) ,40p.

Devlin R.H., Yesaki T.Y., Donaldson E.M., Du S.J. et Hew C.-L., 1995. Production of germline transgenic Pacific salmonids with dramatically increased growth performance. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques.* 1376–84.

Farrell A.P., Bennet W. et Devlin R.H., 1997. Growth-enhanced transgenic salmon can be inferior swimmers. *Journal canadien de zoologie.* 75: 335–37.

Gallais A., Ricroch A., 2006. Plantes transgéniques : fais et enjeux. Edition Quae. 284p.

Goodman H.M., 1993. Growth hormone and metabolism. In M.P. Schreiberman, C.G. Scanes, P.K.T. Pang (eds.), *The Endocrinology of Growth, Development, and Metabolism in Vertebrates.* San Diego: Academic Press.

Hill J.A., Kiessling A., et Devlin R.H., 2000. Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) transgenic for a growth hormone gene construct exhibit increased rates of muscle hyperplasia and detectable levels of gene expression. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques.* 57: 939–50.

Johnsson J.I., Petersson E., Jönsson E., Björnsson B. Th. et Järvi T., 1996. Domestication and growth hormone alter antipredator behaviour and growth patterns in juvenile brown trout, *Salmo trutta.* *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques.* 53: 1546–54.

Lindstrom C.D., van Do T., Hordvik I., Endresen C. et Elsayed S., 1996. Cloning of two distinct cDNAs encoding parvalbumin, the major allergen of Atlantic salmon *salmo salar.* *Scan. J Immunol.* 44 : 335–44.

Moull M. et Moull N., 2002. Précis des risques alimentaires : Technique et Documentation. 383p.

Mori T., Devlin R., 1999. Transgene and host growth hormone gene expression in pituitary and nonpituitary tissues of normal and growth hormone transgenic salmon. *Mol. Cell. Endocrinol.* 149: 129–39.

Müller M., 2000. Increasing disease resistance in transgenic domestic animals. In: **Toutant J.P., Balazs E.,** editors, *Molecular Farming*. InRA Editions. P : 87–98.

Primorse S., Twyman R. et Old R., 2004. Principes de génie génétiques. Boeck et Larcier. 400p.

Rivasi M., Lepage C., 2001. Bioraisonné : OGM quelle agriculture dans notre assiette ?. *Terre Vivant l'écologie pratique.* 127p.

Stewart J.r. C.N., Halfhill M.D. et Warwick S.I., 2003. Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nat Rev Genet.* 4:806–17.

Tourte Y., Tourte C. et Moreau-Vauzelle C., 2002. Génie génétique et biotechnologie (concepts, méthode et applications agronomiques). Dunod.144p.

Les sites

[1] Adrien S., 2007, Fabrication des O.G.M. En ligne, <http://www.blogadrien.fr/index.php?post/2007/03/02/130-la-position-de-segolene-royal-sur-les-ogm-pour-une-agriculture-sans-ogm-en-plein-champ>. Consulté le 22/05/2010.

[2] Carole C., Catherine C., Boris C., Laure R. et Vincent T., 1999, OGM et Consommateur. En ligne, <http://www.creaweb.fr/bv/ogm/enjeux.html>. Consulté le 20/05/2010.

[3] Greenpeace, Menaces et dangers des OGM. En ligne, <http://www.greenpeace.org/france/campagnes/ogm/fiches-thematiques/menaces-et-dangers-des-ogm>. Consulté le 20/01/2010.

[4] Greenpeace, les dangers des OGM. En Ligne, <http://www.dossiersdunet.com/spip.php?article201>. Consulté le 21/01/2010.

[5] Institut national de santé publique du Québec, 2001. Aliments génétiquement modifiés et santé publique. Document technique. En ligne, <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/commiss/genetique/principe/chapI.pdf>. Consulté le 14/05/2010.

[6] Philippe B., 2005, les applications de la transgénèse. En ligne, <http://www.debats-science-societe.net/dossiers/ogm/applications.html>. Consulté le 08/03/2010.

- [7] La transgénèse, in wikipedia. En ligne, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Transg%C3%A9n%C3%A8se>. Consulté le 10/05/2010.
- [8] Organisme transgénétique, in wikipedia. En ligne, http://fr.wikipedia.org/wiki/Organisme_g%C3%A9n%C3%A9tiquement_modifi%C3%A9. Consulté le 10/05/2010
- [9] Les OGM. En ligne, <http://www.chimie-sup.fr/OGM.htm>. Consulté le 12/05/2010.
- [10] Les OGM : intérêts et inconvénients <http://bio-l-ogm.e-monsite.com/rubrique.i-qu-est-ce-qu-un-ogm.120204.html>. Consulté le 17/05/2010.
- [11] Les OGM dans l'alimentation. En ligne, <http://www.univ-brest.fr/esmisab/sitesc/Prod-Anim/ogm.pdf>. Consulté le 17/05/2010.
- [12] Les OGM en agriculture. En ligne, http://www.cnisf.org/biblioth_cnisf/fiches_environnement/OGM.pdf. Consulté le 17/05/2010.
- [13] Définition OGM. En ligne, <http://www.galanet.eu/dossier/fichiers/D%E9finition%20OGM.doc>. Consulté le 12/01/2010.
- [14] Génie génétique, in wikipedia. En ligne, http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9nie_g%C3%A9n%C3%A9tique. Consulté le 04/04/2010.
- [15] Le gène, in wikipedia. En ligne, <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A8ne>. Consulté le 04/04/2010.
- [16] Le génome, in wikipedia. En ligne, <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9nome>. Consulté le 04/04/2010.
- [17] En ligne, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/x9602f/x9602f00.pdf>. Consulté le 23/05/2010.
- [18] En ligne, <http://www.gnis-pedagogie.org/pages/classbio/chap3/36.htm>. Consulté le 05/03/2010.
- [19] En ligne, <http://www.fne.asso.fr/fr/themes/question.html?View=entry&EntryID=140>. Consulté le 21/05/2010.
- [20] Surface cultivées des OGM, in wikipedia. En ligne, http://fr.wikipedia.org/wiki/Surfaces_cultiv%C3%A9es_des_OGM. Consulté le 10/05/2010.
- [21] Les applications des OGM. En ligne, http://www.univrouen.fr/ABISS/L1/WEB/OGM/page_applications.html#A_application_environmentale. Consulté le 28/05/2010.

- [22] En ligne, <http://www.ogm.org/pages/ogm.php?cat=04>. Consulté le 30/05/2010.
- [23] La santé par les biotechnologies végétales. En ligne, <http://www.ogm.org/pages/showogm.php?cat=05&ogmid=3>. Consulté le 30/05/2010.
- [24] La santé par les biotechnologies végétales. En ligne, <http://www.ogm.org/pages/showogm.php?cat=05&ogmid=5>. Consulté le 28/05/2010.
- [25] La santé par les biotechnologies végétales. En ligne, <http://www.ogm.org/pages/showogm.php?cat=05&ogmid=6>. Consulté le 28/05/2010.
- [26] En ligne, http://www.u-bourgogne.fr/DESS-ERE/pages_web/site%20OGM/Risques%20sanitaires.html. Consulté le 02/02/2010.
- [27] En ligne, www.greenpeace.org/.../les-impacts-des-ogm-sur-l-envi.pdf. Consulté le 10/01/2010.
- [28] OGM et consommateur. En ligne, <http://www.creaweb.fr/bv/ogm/risques.html>. Consulté le 18/01/2010.
- [29] Apparition d'insectes résistants à la plantes transgéniques. En ligne, <http://www.senat.fr/rap/r97-440/r97-44018.html>. Consulté le 18/01/2010.
- [30] Risque pour l'environnement. En ligne, <http://membres.multimania.fr/ogmland/risques.html>. Consulté le 20/01/2010.
- [31] L'éventuel impact sur les insectes utiles comme l'abeille. En ligne, <http://www.senat.fr/rap/r97-440/r97-44019.html>. Consulté le 20/01/2010.
- [32] En ligne, <http://www.abhato.net.ma/index.php/fre/content/download/.../lesOGM.pdf>. Consulté le 14/04/2010.
- [33] En ligne, <http://www.abhato.net.ma/index.php/fre/content/download/.../lesOGM.pdf>. Consulté le 14/04/2010.
- [34] Les OGM : Risque sanitaire. En ligne, http://www.u-bourgogne.fr/DESS-ERE/pages_web/site%20OGM/Risques%20sanitaires.html. Consulté le 22/01/2010.
- [35] En ligne, http://www.rsc.ca/files/publications/expert_panels/foodbiotechnology/GMreportFR.pdf. Consulté le 05/03/2010.

- [36] En ligne, <http://www.cirano.qc.ca/pdf/publication/2002RP-02.pdf>. Consulté le 05/03/2010.
- [37] En ligne, http://www.liewensufank.lu/Pdfs/Verschiedenes_Divers/Vorlage%20NOOGM_F_D.pdf. Consulté le 05/03/2010.
- [38] En ligne, <http://www.dossiersdunet.com/spip.php?article201>. Consulté le 07/03/2010.
- [39] En ligne, <http://www.ogm.org/pages/showogm.php?cat=01&ogmid=30>. Consulté le 09/03/2010.
- [40] En ligne, http://wapedia.mobi/fr/Organisme_g%C3%A9n%C3%A9tiquement_modifi%C3%A9?t=4.#4. Consulté le 11/04/2010.
- [41] En ligne, http://wapedia.mobi/fr/G%C3%A8ne_de_r%C3%A9sistance. Consulté le 12/04/2010.
- [42] En ligne, <http://www.astrosurf.com/luxorion/Bio/dwg-bacterie.jpg>. Consulté le 12/04/2010.
- [43] En ligne, <http://www.e-monsite.com/s/2008/02/16/les-ogms/schemacanon-i4lqx.jpg>. Consulté le 01/06/2010.
- [44] En ligne, http://www.futura-sciences.com/uploads/RTEmagicC_Concombre-OGM-infeste_Miruna-Sasu-Penn-State.jpg.jpg. Consulté le 01/06/2010.
- [45] En ligne, http://www.opalc.org/damien/public/180308_fumigation.jpg. Consulté le 01/06/2010.
- [46] En ligne, <http://www.observatoiredeleurope.com/photo/1091445-1387868.jpg>. Consulté le 01/06/2010.
- [47] En ligne, <http://www.commune-haverskerque.fr/IMG/jpg/P1010764franck-2.jpg>. Consulté le 03/06/2010.
- [48] En ligne, <http://www.mineralinfo.org/utilisation/Images/papier.jpg>. Consulté le 03/06/2010.
- [49] En ligne, <http://www.sosinf.org/wp-content/uploads/2010/03/cartouches-insuline.jpg>. Consulté le 06/06/2010.

[50] En ligne, http://data0.eklablog.com/tpe-ogm/mod_article981915_1.jpg. Consulté le 01/06/2010.

[51] En ligne, <http://cneffpaysages.blog.lemonde.fr/files/2009/12/neige-et-fruits-d-arbousier-13122009.1260727541.jpg>. Consulté le 07/06/2010.

[52] En ligne, http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/77/Microtiter_plate.JPG. Consulté le 07/06/2010.

[53] En ligne, <http://www.eurofins.fr/media/2464/pcr-c.jpg>. Consulté le 08/06/2010.

[54] En ligne, <https://formation.ensyon.fr/Formation/Groupes/Formation Continue/Sciences de la vie/Determinisme du sexe et clonage/Clonage Transgenese/Images/MicroInjectionTrsgene.jpg>. Consulté le 08/06/2010.

[55] En ligne, <http://www.natura-sciences.com/images/Pyrale.JPG>. Consulté le 09/05/2010.

[56] En ligne, http://www.edu.upmc.fr/sdv/masselot_05001/applications/images/l'equi_Chapitre8/chap8e3p-fig8-16.gif. Consulté le 09/05/2010.

[57] En ligne, <http://s1.e-monsite.com/2009/10/04/11/60963462abeille-jpg.jpg>. Consulté le 09/05/2010.

[58] En ligne, <http://medias.lepost.fr/ill/2008/05/24/h-3-1192487-1211626388.jpg>. Consulté le 09/05/2010.

[59] En ligne, <http://svtlgb.fr/SECONDE/TP8/Nouveau%20dossier/saumons%20transgeniques.jpg>. Consulté le 09/05/2010.

[60] En ligne, http://www.enviro2b.com/wp-content/uploads/nature/mais_ogm_1.jpg. Consulté le 28/05/2010.