

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

**UNIVERSITE 8 MAI 1945 DE GUELMA**  
*Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de*  
*L'univers*



**Domaine:** Science de la Nature et de la Vie

**Filière:** Sciences alimentaire

**Spécialité/Option:** Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

**Département:** Biologie

# **Thème: Les Aliments Génétiquement Modifiés**

**Présenté par :**

**Bouziani Rebaia**

**Membres de jury :**

**Président : Dr MOKHTARI Abdelhamid**

**Université de Guelma**

**Examineur : Dr BENTBOULA Monsef**

**Université de Guelma**

**Encadreur : Pr SOUIKI Lynda**

**Université de Guelma**

**Année Universitaire**

**2019/2020**

# Remerciements

*Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices; nos remerciements vont d'abord au ALLAH pour nous avoir aidé à achever ce travail et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette année d'étude. Je tiens aussi à adresser mes remerciements à ma famille, et plus précisément à mon père et ma mère qui m'ont toujours soutenus et poussés à continuer mes études. Ce présent travail a pu voir le jour grâce à leur soutien.*

*Je tiens personnellement à remercier Madame **Mme.SOUMATI SOUIKI Lynda** pour son soutien continu et sa patience en cours de la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement de **MOKHTARI Abdelhamid**, Docteur à l'université de Guelma, de nous avoir honorés de sa présence et d'avoir acceptée de présider le jury.*

*Nos remerciements vont également à la commission d'examen Dr **BENTBOULA Monsef**.*

*J'ai le grand plaisir de présenter mes remerciements à toutes les personnes qui ont participé et qui m'ont aidé à réaliser cette recherche.*

*Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s que j'aime tant, **ALLEL FATIMA ZAHRA, BOUZIANI DJAWHAR**.*

## **RESUME**

La biotechnologie a contribué à l'émergence d'organismes génétiquement modifiés (OGM), Cette transformation a inclus tous les organismes vivants représentés par les plantes, les animaux et les micro-organismes. Et dans tous les domaines, y compris l'agriculture alimentaire, car elle a contribué à l'émergence d'aliments génétiquement modifiés (AGM) qui ont de nouvelles caractéristiques. Les aliments génétiquement modifiés, manipulés pour améliorer leurs propriétés nutritives, font partie de la seconde génération de développements biotechnologiques appliqués à l'agriculture. Ces nouveaux produits sont développés dans le but d'améliorer la qualité de vie des consommateurs, en prévenant certaines maladies.

L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans le processus de production de l'alimentation humaine reste très controversée sur le continent européen. Ce débat passionné s'inscrit, en effet, sur fond de catastrophes sanitaires et environnementales. Ainsi, l'Union Européenne a-t-elle adoptée une politique de ségrégation des produits avec et sans OGM à travers une obligation d'étiquetage des produits contenant des OGM.

Il était également évident qu'il y avait des effets positifs et négatifs sur les diverses ressources naturelles telles que la terre, les plantes, les animaux de ferme, les poissons, les insectes bénéfiques, et sur les ressources humaine - représentée par le consommateur - de la présence de gènes de résistance aux antibiotiques, de la présence de gènes de l'hormone de croissance humaine dans la chaîne alimentaire et du risque de développer des maladies allergiques.

**Les mots clés :** O.G.M, risques, AGM, étiquetage, consommateur, l'alimentation.

## Summary

Biotechnology has contributed to the emergence of genetically modified organisms (GMO), This transformation has included all living organisms represented by plants, animals and microorganisms. And in all areas, including food agriculture, because it has contributed to the emergence of genetically modified foods (AGM) that have new characteristics. Genetically modified foods, manipulated to improve their nutritional properties, are part of the second generation of biotechnological developments applied to agriculture. These new products are developed with the aim of improving the quality of life of consumers by preventing certain diseases.

The use of genetically modified organisms (GMO) in the production process of human food remains very controversial on the European continent. This passionate debate is taking place against a backdrop of health and environmental disasters. Thus, the European Union has adopted a policy of segregation of products with and without GMO through an obligation to label products containing GMO.

It was also evident that there were positive and negative effects on various natural resources such as land, plants, farm animals, fish, beneficial insects, and on human resources - represented by the consumer - the presence of antibiotic resistance genes, the presence of human growth hormone genes in the food chain and the risk of developing allergic diseases.

**Keywords:** OGM, risks, AGM, labeling, consumer, food

## ملخص

ساهمت التكنولوجيا الحيوية في ظهور الكائنات المعدلة وراثيًا (GMO) ، وقد شمل هذا التحول جميع الكائنات الحية التي تمثلها النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة. وفي جميع المجالات ، بما في ذلك الزراعة الغذائية ، لأنها ساهمت في ظهور الأطعمة المعدلة وراثيًا (AGM) التي لها خصائص جديدة. تعد الأغذية المعدلة وراثيًا ، التي تم التلاعب بها لتحسين خصائصها الغذائية ، جزءًا من الجيل الثاني من التطورات التكنولوجية الحيوية المطبقة على الزراعة. تم تطوير هذه المنتجات الجديدة بهدف تحسين نوعية حياة المستهلكين من خلال منع بعض الأمراض.

لا يزال استخدام الكائنات المعدلة وراثيًا (GMO) في عملية إنتاج الغذاء البشري مثيرًا للجدل في القارة الأوروبية. تجري هذه المناقشة الحماسية على خلفية الكوارث الصحية والبيئية. وبالتالي، فقد تبني الاتحاد الأوروبي سياسة فصل المنتجات التي تحتوي على كائنات معدلة وراثيًا وبدونها من خلال الالتزام بوضع ملصقات على المنتجات التي تحتوي على كائنات معدلة وراثيًا.

كما كان من الواضح أن هناك تأثيرات إيجابية وسلبية على الموارد الطبيعية المختلفة مثل الأرض والنباتات وحيوانات المزرعة والأسماك والحشرات النافعة وعلى الموارد البشرية - التي يمثلها المستهلك - وجود جينات مقاومة للمضادات الحيوية ووجود جينات هرمون النمو البشري في السلسلة الغذائية وخطر الإصابة بأمراض الحساسية

**الكلمات المفتاحية:** الكائنات المعدلة جينيا ، المخاطر ، الأغذية المعدلة جينيا ، الملصقات ،

المستهلك ، الغذاء .

# SOMMAIRE

Remerciements	
RESUME	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Introduction.....	1
<b>Chapitre I : Généralités</b>	
1. La Biotechnologie .....	4
1.1. Historique de la biotechnologie.....	4
1.1.1. Biotechnologie primitive .....	4
1.1.2. Biotechnologie moderne.....	4
1.2. Définition de la biotechnologie .....	5
1.3. La biotechnologie alimentaire .....	5
2. Le génie génétique.....	6
2.1. Définition du génie génétique : .....	6
2.2. La principale technique du génie génétique .....	7
2.2.1. Techniques de l'ADN recombinant .....	7
2.3. Les champs d'application du génie génétique dans l'alimentation .....	12
3. Les organismes génétiquement modifiés (OGM) .....	15
3.1. Historique.....	15
3.1.1. La naissance des premiers OGM (les années 70):.....	15
3.1.2. Le développement d'une technique d'insertion chez les végétaux (les années 80) : .....	15
3.1.3. Approbation d'OGM au Canada(les années 90) : .....	15
3.2. Définition d'organismes génétiquement modifiés.....	16
4. La transgénèse .....	17
4.1. Les cinq catégories de gène en cause.....	18
4.1.1. La résistance aux insectes .....	18
4.1.2. Les gènes conférant une résistance à certains herbicides.....	18
4.1.3. Les gènes marqueurs codant une résistance aux antibiotiques.....	19
4.1.4. Gènes entraînant la stérilité du mâle.....	19
4.1.5. Gènes servant à en réduire d'autre au silence. ....	19
4.2. Les étapes de la transgénèse.....	20
5. La création d'organismes transgéniques.....	23
6. Variétés d'organismes génétiquement modifiés .....	24
6.1. Animaux transgéniques.....	24

6.2. Plantes transgéniques .....	24
6.3. Bactéries transgéniques.....	24

## **Chapitre II :Aliments Génétiquement Modifiés**

1. Définition : .....	26
2. Recherches dans le domaine des aliments fonctionnels génétiquement modifiés. ....	26
3. Les aliments d'origine végétale .....	29
3.1. Exemples de produits végétaux transgéniques actuellement en développement .....	29
3.2. Les cultures transgéniques à l'échelle mondiale .....	30
3.2.1. Les céréales transgéniques .....	32
3.2.2. Les fruits et légumes.....	40
3.2.2.1. La banane génétiquement modifiées.....	40
3.2.2.2. L'ananas génétiquement modifiées. ....	41
3.2.2.3. Tomate génétiquement modifiées.....	42
3.2.2.4. Pomme de terre résistance au doryphore (coléoptère).....	42
4. Animaux génétiquement modifiés .....	43
4.1. La consommation des animaux transgéniques .....	47
4.2. Les règles de dissémination des animaux transgéniques .....	47
5. Les microorganismes d'intérêt alimentaire.....	48
6. L'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés.....	49
7. Le consommateur .....	50
8. L'encadrement des aliments génétiquement modifiées .....	52
8.1. Réglementation européenne actuelle .....	52
8.2. Étiquetage.....	52
8.2.1. Étiquetage volontaire / étiquetage obligatoire .....	53
8.2.2. Étiquetage « avec OGM » (ou étiquetage positif) et étiquetage « sans OGM »(ou étiquetage négatif) .....	54
8.2.3. L'étiquetage extensif et étiquetage restrictif .....	55
8.3. La traçabilité.....	55

## **Chapitre III :Aliments Génétiquement Modifiés Et La Sécurité Alimentaire**

1. La sécurité alimentaire.....	57
2. Parvenir à la sécurité alimentaire .....	57
3. Les principes de santé publique en matière de trière de réglementation aliments GM.....	58
4. Les risques des AGM.....	58
4.1. Les risques à la santé .....	58
4.1.1. Les effets toxiques .....	59
4.1.2. Le risque d'allergénicité.....	59
4.1.3. La résistance aux antibiotiques .....	60

4.1.4. Autres effets .....	62
4.2. Le risque sur l'environnement.....	63
4.2.1. Les flux de gènes et la dissémination de gènes résistants aux herbicides.....	63
4.2.2. Les conséquences des OGM sur les insectes utiles non ciblés.....	64
4.2.3. Des risques indirects liés à l'augmentation de la pulvérisation d'herbicides totaux .....	64
5. Les avantages .....	65
5.1. Les avantages sanitaire .....	65
5.1.1. Réduire l'incidence d'états ou de maladies en rapport avec la nutrition .....	65
5.2. Les avantages environnementaux.....	66
5.2.1. Moins de mauvaises herbes et d'insectes ravageurs .....	66
5.2.2. Tolérance au froid, au chaud et au sel.....	67
6. Futurs produits à risque possibles.....	67
IV .Conclusion .....	70
V.Références bibliographiques .....	72

## Liste des abréviations

**ADN** : Acide Désoxyribonucléique

**AGM** : Aliments génétiquement modifiés.

**ALS** : Amyotrophic lateral sclerosis

**ASPO** : American society of pediatric otolaryngology

**AFSCA** : Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire

**Bt** : *Bacillus thuringiensis*.

**CNUED** : Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.

**CNRS** : Centre national de la recherche scientifique

**CRISPR** : clustered regularly interspaced short palindromic repeats

**EPO** : European Patent Office

**EPA** : Environmental Protection Agency

**Enviropig MC** : La commission ontarienne de commercialisation du porc, ou ontariopork

**FAO** : Organisation pour l'alimentation et l'agriculture.

**FDA** : Administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments.

**HDR** : haut dose refuge.

**ISAAA** : International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications.

**GM** : Génétiquement Modifié.

**GAT** : glyphosate -N-acetyl -transférase .

**GGPP** : pyrophosphate de géranylgeranyle

**LDL** : low-density lipoprotein

**MGM** : Microorganisme génétiquement modifié.

**MTA** : Matériel Transfer Agreement

**OCDE** : L'Organisation de coopération et de développement économiques

**OGM** : Organisme génétique modifié.

**OMS** : Organisation Mondiale de la santé.

**OVM** : Organisme vivant modifié.

**ONU** : L'Organisation des Nations Unies

**OMC** : Organisation Mondiale de commerce

**PRSV** : papaya ring spot virus.

**P35S** : Promoteur 35S.

**PGM** : Plante Génétiquement Modifié.

**PLRV** :Potato leaf roll virus

**Tnos** : Termineur nopalinesynthase

**UE** :Union Européenne

**VIH** :Virus de l'immunodéficience humaine

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Schéma d'une recombinaison donnant de l'ADN recombiné -----	8
<b>Figure 2:</b> La technique de la biolistique -----	10
<b>Figure 3:</b> Schéma récapitulatif de la micro-injection -----	10
<b>Figure 4:</b> La technique de L'électroporation-----	11
<b>Figure 5:</b> Les étapes de la transgénèse-----	22
<b>Figure 6:</b> Principales cultures PGM-----	31
<b>Figure 7:</b> <i>Bacillus thuringiensis</i> au microscope -----	35
<b>Figure 8:</b> schéma des étapes de la construction du Maïs résistant à la pyrale -----	36
<b>Figure 9:</b> Le riz doré et le riz blanc -----	38

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Catégorie d'aliment modifié génétiquement. -----	12
<b>Tableau 2:</b> Recensement des recherches sur les aliments issus de modifications génétiques.	27
<b>Tableau 3:</b> Evolution des surfaces de maïs semées avec des variétés de maïs Bt -----	35
<b>Tableau 4:</b> Animaux transgéniques et produits dérivés destinés à la consommation humaine en cours de mise au point -----	45

# **Introduction**

## Introduction

Un important sous-secteur des biotechnologies modernes est le génie génétique, c'est-à-dire le recours aux techniques modernes de la biologie moléculaire pour manipuler le patrimoine génétique d'un organisme en introduisant ou éliminant des gènes spécifiques. On appelle organisme génétiquement modifié (OGM), ou encore organisme vivant modifié (OVM) ou organisme transgénique, tout organisme vivant possédant une combinaison de matériel génétique inédite, obtenue par recours à la biotechnologie moderne. Cette évolution de croisement, est très utilisée dans la culture des céréales. [1]

On pensait que la technologie deviendrait un outil qui aiderait à résoudre les problèmes de l'approvisionnement alimentaire mondial. Cependant, cela ne s'est pas produit. Néanmoins, il convient de noter les grandes réalisations qui ont été réalisées grâce à la découverte de microorganismes et au développement de produits biologiques, biochimiques et techniques moléculaires qui ont permis le progrès de cette branche de la science.

Les interventions biotechnologiques se sont concentrées sur la modification ou l'amélioration du goût, de l'arôme, de la durée de conservation, de la texture et de la valeur nutritionnelle des produits alimentaires, en utilisant la fermentation, la technologie enzymatique, la nanotechnologie et la biologie moléculaire. (Araceli *et al.*, 2017)

L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans le processus de production de l'alimentation humaine reste très controversée sur le continent européen. Ce débat passionné s'inscrit, en effet, sur fond de catastrophes sanitaires et environnementales. Ainsi, l'Union Européenne a-t-elle adoptée une politique de ségrégation des produits avec et sans OGM à travers une obligation d'étiquetage des produits contenant des OGM.

Les aliments génétiquement modifiés, manipulés pour améliorer leurs propriétés nutritives, font partie de la seconde génération de développements biotechnologiques appliqués à l'agriculture. Ces nouveaux produits sont développés dans le but d'améliorer la qualité de vie des consommateurs, en prévenant certaines maladies et en procurant des effets physiologiques démontrés. En effet, des recherches sont présentement en cours pour mettre au point des cultures qui présentent des nouveaux profils de lipides, de protéines, de glucides, de vitamines et d'autres micro-constituants. Les manipulations génétiques visent aussi à éliminer certains composés indésirables ou anti nutritifs. Des aliments fonctionnels génétiquement modifiés sont donc obtenus par clonage de gènes nutritionnels utiles qui sont ensuite transférés dans des cultures déficientes. (Huot, 2002)

Et pour approfondir dans notre sujet, nous avons structuré ce mémoire en trois Chapitres :

- Le premier est consacré à donner des idées générales sur la biotechnologie et OGM
- Le deuxième chapitre, constitue l'essentiel de ce mémoire, nous donnons la définition de les aliments génétiquement modifiées et présentons quelque exemple des AGM en plus de leur situation.
- Le troisième chapitre, est consacré à la sécurité alimentaire et aux risques sur la santé et l'environnement.

# **Chapitre I**

## **Généralités**

## **1. La Biotechnologie**

### **1.1. Historique de la biotechnologie**

#### **1.1.1. Biotechnologie primitive**

La biotechnologie est une des sciences clé du XXI<sup>e</sup> siècle, et bien que la plupart des découvertes soit relativement récentes, à peine plus d'une centaine d'années, les premières d'entre elles sont vieilles de plusieurs millénaires.

Il a rapidement été indispensable à l'Homme de pouvoir assurer la conservation de ses aliments et de l'absence d'éléments pathogènes, ainsi que de disposer de boissons ou les micro-organismes ne peuvent se développer. Amenant par la même à la découverte de technique de conservation, tel le séchage des aliments, l'ajout de sel ou de sucre, probablement à la base de la découverte de la fermentation. Ces techniques permettent l'apparition du pain, du fromage, de la bière et du vin, mais ont aussi leurs applications pour le tannage des peaux par exemple.

#### **1.1.2. Biotechnologie moderne**

La biotechnologie moderne trouve ses origines dans divers travaux de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, qui seront repris, aboutissant à de nombreuses découvertes pendant tout le XX<sup>e</sup> siècle, notamment grâce à l'industrialisation, mais aussi grâce aux efforts fournis par les pays lors des deux guerres mondiales.

Ainsi Louis Pasteur amènera à l'emploi de micro-organismes purs et à l'utilisation de milieux de culture stériles (aboutissant à la pasteurisation). C'est le début de la lutte contre les micro-organismes pathogènes, auquel fera suite la découverte fortuite, mais capitale, de la pénicilline par Alexander Fleming. Mais de nombreuses découvertes concerneront aussi l'utilisation d'enzymes, extraites de déchets d'abattoir ou de cultures de champignons, qui révolutionneront la tannerie par exemple. L'utilisation de germes aérobies ou anaérobies pour le traitement des eaux usées, ou encore la découverte de la glycérine et de l'acétone, permettent la mise au point d'explosifs.

#### **1.1.3. Biotechnologie de nos jours**

Depuis la seconde guerre mondiale, la Biotechnologie a multipliée les nouvelles découvertes. Elle se retrouve partout, des techniques de pointes, tels les tomates transgéniques, le clonage

d'animaux, le séquençage du génome humain, à la vie courante, ajout de protéases d'origine microbienne dans les poudres à laver ou les présures d'origine microbienne pour la fabrication des fromages.

La biotechnologie rencontre un grand succès dans l'industrie pharmaceutique, où elle permet aujourd'hui la mise sur le marché de dizaine de produits comme l'insuline humaine, l'érythropoïétine (EPO)... Et où elle permet d'espérer disposer un jour de thérapie génique.

Aujourd'hui, de nombreux problèmes sociologiques sont posés par les applications des biotechnologies. Ainsi la naissance de la brebis Dolly a soulevée de nombreuses interrogations sur le clonage, en amenant d'autres, tel le statut de l'embryon humain (à partir de quand peut-on parler de vie humaine ? Peut-on moralement cloner l'être humain ?). D'autres questions se poseront d'ici peu, comme jusqu'où peut-on modifier la nature pour l'adapter à nos conditions de vie ? À partir de quand cela est-il dangereux ? Le dépistage génétique pose un problème vis-à-vis de l'assurance maladie. [2]

### **1.2. Définition de la biotechnologie**

La biotechnologie est définie comme étant "l'ensemble des méthodes et techniques qui utilisent les capacités génétiques et physiologiques du vivant pour mettre au point et développer de nouveaux produits". Ce domaine de recherche, dont le développement est fulgurant, intègre les progrès de plusieurs disciplines telles que la microbiologie, la biochimie, la génétique, la biologie moléculaire et l'informatique. L'OCDE la définit (en 1982) comme "l'application des organismes, systèmes et procédés biologiques pour la production des biens et des services au bénéfice de l'homme". (Goudjil, 2007)

### **1.3. La biotechnologie alimentaire**

L'application de la biotechnologie moderne à la production alimentaire comporte des possibilités et des enjeux stimulants pour la santé humaine et le développement. Le génie génétique, qui est l'une des biotechnologies modernes les plus connues, permet, en modifiant leur patrimoine génétique, de conférer à des plantes, à des animaux et à des micro-organismes des caractères qui ne pourraient pas être obtenus à l'aide des techniques classiques de reproduction et de sélection. A côté de la modification génétique, il existe des techniques telles que le clonage, les cultures de tissus ou l'amélioration génétique basée sur l'utilisation de marqueurs que l'on a souvent tendance à considérer également comme des biotechnologies modernes.

En conférant à un organisme des caractères ou traits nouveaux, on a la possibilité d'augmenter la productivité agricole ou encore d'améliorer la qualité, la valeur nutritionnelle et la facilité de transformation des produits alimentaires, ce qui peut contribuer directement à promouvoir le développement humain, notamment sur le plan sanitaire. Si l'on se place justement à ce dernier point de vue, ces technologies peuvent également avoir des effets bénéfiques indirects tenant par exemple à une moindre utilisation de produits agrochimiques et à l'augmentation du revenu des agriculteurs, à la durabilité des cultures et à la sécurité alimentaire, en particulier dans les pays en développement. (OMS, 2005)

## **2. Le génie génétique**

Le génie génétique est rapidement apparu comme un moyen d'obtenir plus simplement et plus précisément des variétés nouvelles et plus diverses que ce que peut faire la sélection classique. Le transfert de gène permet en effet d'apporter très rapidement un caractère connu pour appartenir à l'espèce ou un caractère qui lui est étranger et qui n'a que très peu de chance d'émerger quelle que soit la durée de la sélection.

La transgénèse permet, en théorie, d'engendrer très rapidement des variétés présentant des caractères avantageux n'imposant pas de modifications des techniques de culture. Cela rend, en principe, les organismes génétiquement modifiés particulièrement attractives pour les pays en développement. L'intérêt pratique des OGM dépend en revanche des conditions économiques et sécuritaires dans lesquelles ces nouvelles variétés sont mises à la disposition des agriculteurs. (Houdebine, 2006)

### **2.1. Définition du génie génétique :**

Le génie génétique est une forme de biotechnologie moderne utilisée pour modifier le génome ou matériel génétique d'organismes vivants. Il permet d'ajouter de nouveaux caractères précis à une plante ou à un animal par la manipulation directe de son génome. Le génie génétique repose généralement sur l'utilisation de l'ADN recombinant, qui est produit en joignant de multiples fragments d'ADN, habituellement pour des manipulations génétiques. On peut se servir de la technologie de recombinaison de l'ADN pour introduire de l'ADN étranger – provenant d'un organisme de la même espèce ou d'une autre – dans le génome d'un organisme vivant. Cette technologie permet donc l'introduction de gènes individuels dans une variété de culture commerciale déjà développée.

La technologie d'édition génomique – qui constitue une forme plus récente de génie génétique – permet de couper, remplacer ou insérer une séquence d'ADN précise dans le matériel génétique d'un organisme. Tout comme pour l'ADN recombinant, cette technologie permet d'introduire du matériel génétique dans le génome, mais elle permet aussi d'effectuer des modifications sans utiliser d'ADN étranger.

Ces modifications du matériel génétique d'un organisme peuvent servir à ajouter, à amplifier, à supprimer ou à atténuer un caractère précis. L'édition génomique est utilisée couramment en recherche, mais jusqu'à tout récemment cette technologie restait extrêmement coûteuse. Il existe désormais une technique plus abordable appelée la technologie CRISPR, qui permet à de plus en plus de chercheurs de recourir à l'édition génomique en agriculture. Le sigle CRISPR qui signifie « clustered regularly interspaced short palindromic repeats » en français décrit la façon dont ce système immunitaire bactérien est organisé dans le génome. (Flores, 2019)

## 2.2. La principale technique du génie génétique

### 2.2.1. Techniques de l'ADN recombinant

Les aliments transgéniques sont le résultat de la technique de recombinaison d'ADN appliquée aux espèces vivantes comestibles. Cette technique permet la modification de plantes, d'animaux ou des micro-organismes par le transfert de gènes d'un organisme à l'autre (Figure 1). La manipulation consiste à isoler un gène étranger et à l'introduire dans une cellule hôte. Une nouvelle protéine se synthétise dans la cellule hôte à partir du code génétique du gène étranger. L'expression de nouvelles protéines confère de nouvelles propriétés à la cellule hôte.

De façon générale, le gène d'intérêt d'un organisme est isolé. À titre d'exemple, mentionnons le gène de résistance à un herbicide provenant d'une bactérie tel le *Bacillus thuringiensis*. Le gène est retiré de l'organisme au moyen d'enzymes de restriction. Les enzymes de restriction coupent des fragments d'ADN à des positions bien définies. (Fortin et al, 2001)

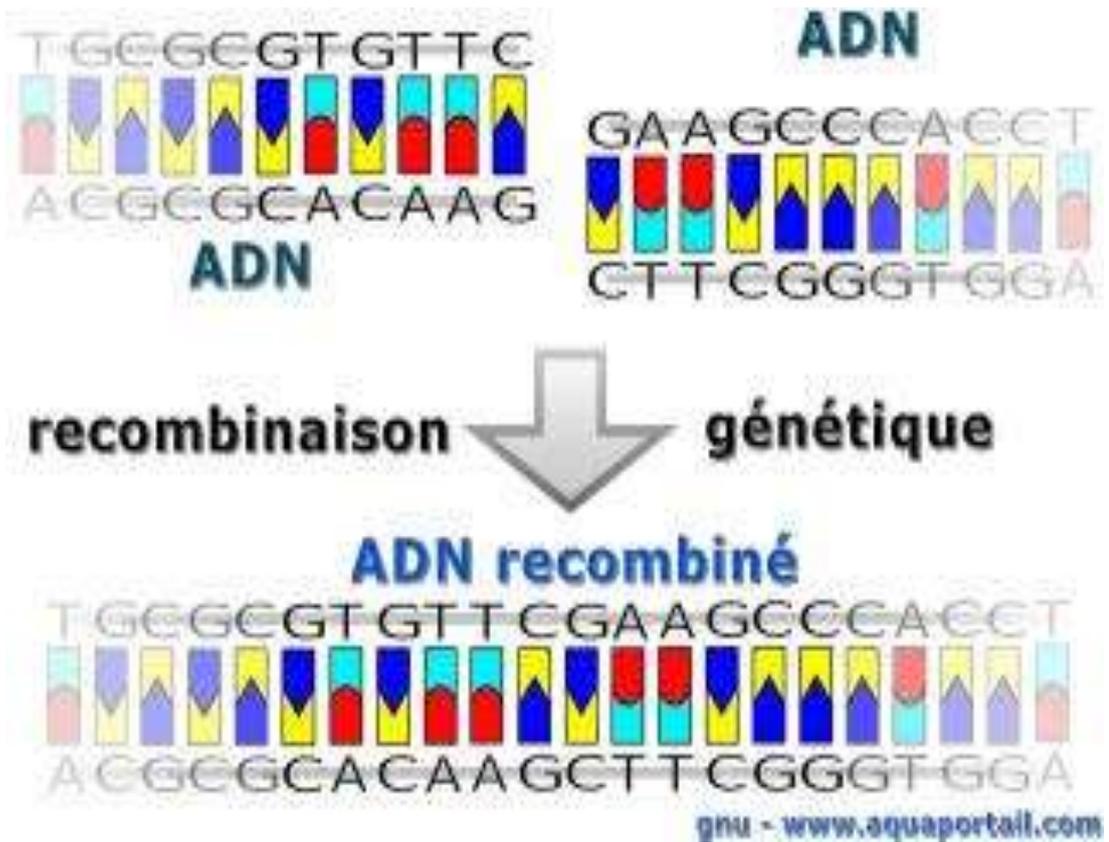


Figure 1 : Schéma d'une recombinaison donnant de l'ADN recombiné. [3]

- **Les Techniques de transfert direct**

- a) **La biolistique :**

Cette technique consiste à propulser le transgène directement dans les cellules végétales en utilisant des micro-billes de métal enrobé d'ADN, généralement ce sont des micro-billes en tungstène, ces dernières sont projetées en très grande vitesse sur les cellules hôtes (Figure 2), l'inconvénient de cette méthode est l'intégration de façon aléatoire de la cellule transformée dans l'ADN. Technique utilisée sur : le Coton, la Tomate, le Blé ...etc. (MOUBRI, 2016)

- b) **La micro-injection :**

Cette méthode consiste à introduire directement le gène étranger dans la cellule hôte en utilisant un micromanipulateur monté avec un microscope, le gène est alors introduit accompagné de son complexe promoteur-terminateur dans le noyau à l'aide d'une micropipette, la cellule est alors modifiée (Figure 3).

Technique utilisée sur : le Tournesol, le Colza, la pomme de terre ...etc. (MOUBRI, 2016)

- c) **La Transfection chimique ou biologique :**

Cette technique consiste à emprisonner, bloquer le gène d'intérêt dans des liposomes qui ont la capacité de fusionner avec la membrane des protoplastes ils libèrent par conséquent le gène d'intérêt dans le cytoplasme de ce dernier, cette méthode est peu utilisée car peu de ces gènes peuvent parvenir jusqu'au noyau et s'intégrer avec le génome. (MOUBRI, 2016)

- d) **L'électroporation :**

Cette méthode consiste à soumettre des ADN et des protoplastes à des champs électriques, ce dernier provoque une déstabilisation de la membrane plasmique et une ouverture des pores facilitant par conséquent le passage de l'ADN dans le noyau, il ne faut en aucun cas que le choc électrique soit fort si non cela empêchera la cellule de reprendre ses activités initiales (Figure 4). Technique utilisée sur : le Riz, le Maïs, l'Orge ...etc. (MOUBRI, 2016)

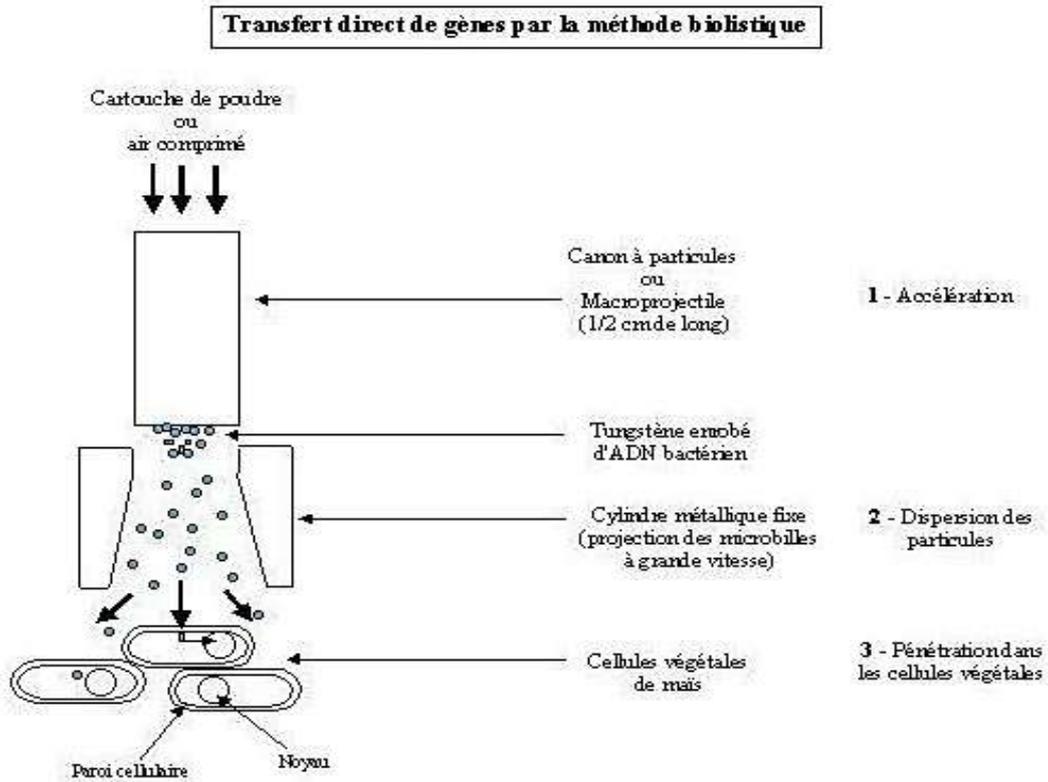


Figure 2: La technique de la Biolistique.[4]

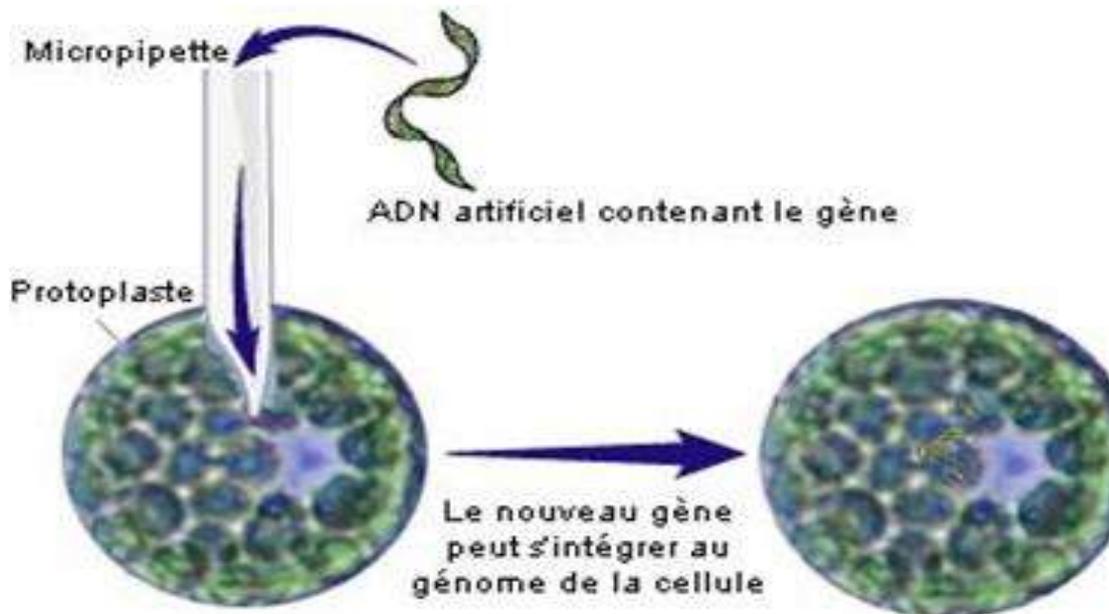


Figure 3: Schéma récapitulatif de la micro-injection [5]

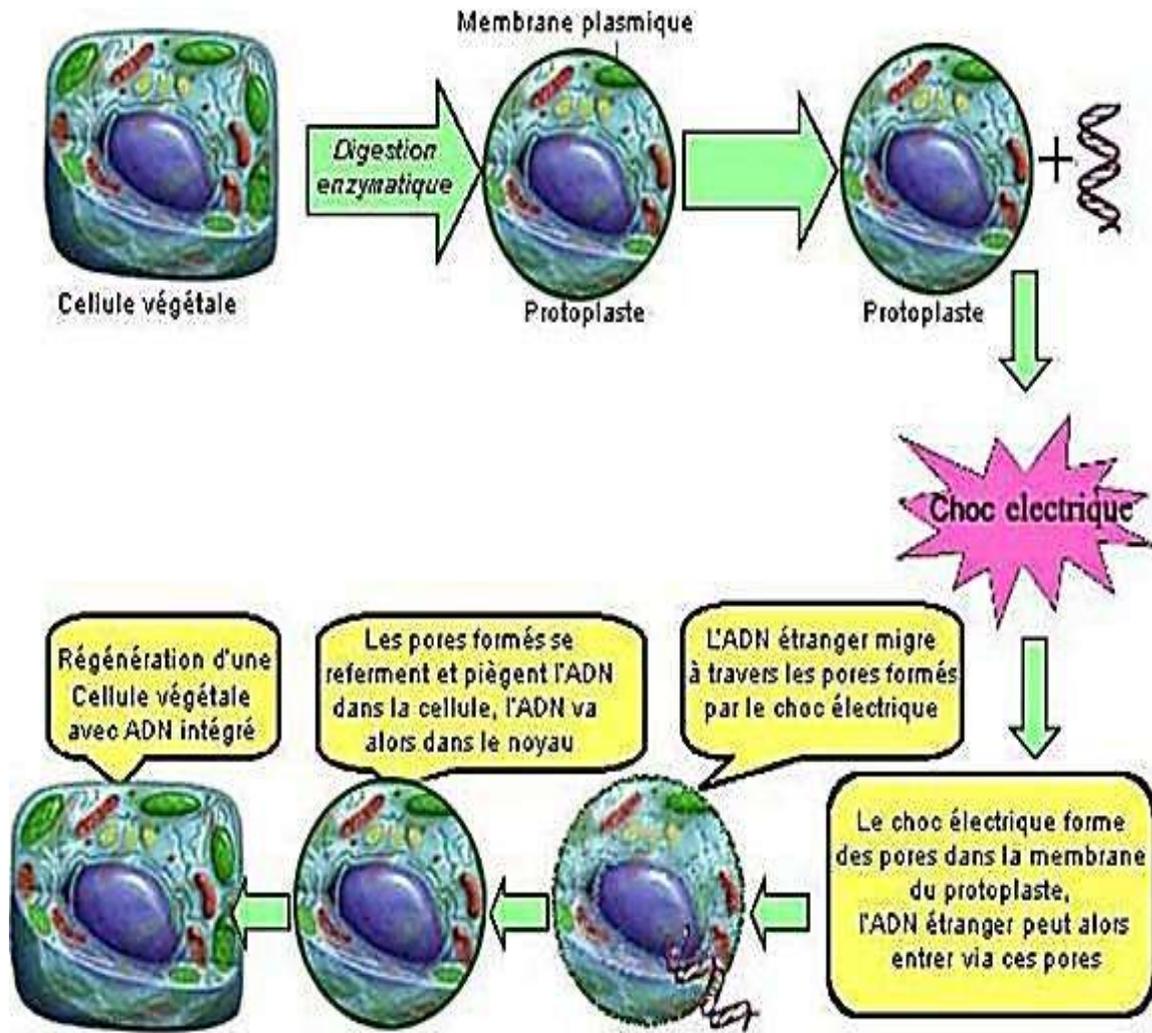


Figure 4: La technique de l'électroporation [5]

### **2.3. Les champs d'application du génie génétique dans l'alimentation**

Au niveau de la production agricole primaire, presque toutes les plantes utiles sont améliorées par l'utilisation conjointe des techniques du génie génétique et de la sélection classique,(Tableau1).

De nombreux progrès sont encore possibles. Il s'agira d'améliorer la digestibilité et la biodisponibilité de certains composants des plantes alimentaires, voire d'obtenir des teneurs plus équilibrées en éléments nutritifs essentiels. D'autre part, certaines plantes possèdent naturellement des propriétés toxiques ou allergéniques qu'il convient d'éviter.

- **Vers une amélioration qualitative**

Dans le cadre d'une amélioration qualitative, l'introduction d'un transgène vise soit à modifier les teneurs en certains nutriments ; soit à assurer une meilleure conservation du produit - tout en maintenant ses qualités organoleptiques.

La teneur en amidon de pommes de terre a ainsi été accrue par le biais d'un transgène pour des utilisations industrielles (purée, féculé, frites absorbant moins d'huile de friture). D'autres améliorations sont en cours de développement : réduction du brunissement (frites), amélioration des propriétés organoleptiques.

Pour les laitues et les épinards, les recherches portent sur la réduction de la quantité de nitrates contenue dans leurs feuilles. Ce qui peut être obtenu par une augmentation de l'expression de la nitrate-réductase (une enzyme permettant de dégrader les nitrates).

Le riz fait également l'objet de recherches. Elles concernent la réduction des propriétés allergisantes. Des recherches sont réalisées pour modifier des acides gras d'oléagineux qui pourraient remplacer l'huile de poisson. Les travaux portent notamment sur l'huile de caméline. cette plante génétiquement modifiée contient une huile enrichie d'EPA ( acide eicosapenténoïque eicosapentaénoïque) dans une proportion de 20%.

Enfin, pour ce qui est du soja, une amélioration envisagée consiste en l'augmentation de sa teneur en acides aminés, essentiels à la synthèse des protéines animales (comme la méthionine).

- **Les micronutriments**

Concernant les micronutriments, des progrès sont permis par la transgénèse, notamment pour les antioxydants comme la vitamine E, les flavonoïdes, la vitamine A et le fer.

Dans de nombreuses régions du monde, l'apport alimentaire en ces micronutriments est insuffisant, ce qui se traduit par des carences plus ou moins grandes.

La transgénèse a permis d'enrichir la teneur du riz en bêta carotène (précurseur de la vitamine A). Actuellement, cet enrichissement est encore insuffisant pour permettre à ce riz transgénique de couvrir tous les besoins en vitamine A – s'il est utilisé comme unique source alimentaire. Son ingestion ne pourrait que prévenir les carences légères.

- **La détoxification**

La transgénèse permet également d'envisager la détoxification de certaines plantes contenant des antivitamines comme l'antivitamine C ou des antiminéaux comme les phytates, les tanins et certains alcaloïdes comme la caféine dans le café.

Elle constitue également un moyen de débarrasser certaines plantes de leurs allergènes. Des recherches montrent notamment qu'il est possible de diminuer l'expression d'allergènes majeurs chez le riz et l'arachide. Des chercheurs travaillent actuellement pour supprimer la synthèse d'une protéine très allergène dans le soja, la protéine.[6]

**Tableau 1:** Catégorie d'aliment modifié génétiquement. [6]

Catégorie d'aliment modifié génétiquement	Aliment ou additif
<b>L'aliment est lui-même un OGM vivant</b>	Tomate, courge, melon, riz, maïs, soja, pomme de terre...
<b>Il contient un OGM vivant</b>	Yaourt contenant des bactéries lactiques, fromage à pâte persillée
<b>Il contient des produits isolés ou traités:</b> fournis par des OGM	Enzymes, acides aminés, vitamines, sucre, amidon, huile
fournis par des OGM désactivés	Ketchup, purée de pomme de terre, confiture, yaourt pasteurisé, bière, pain

### 3. Les organismes génétiquement modifiés (OGM)

#### 3.1. Historique

##### 3.1.1. La naissance des premiers OGM (les années 70):

des bactéries transgéniques. Une première transgénèse est réalisée en 1973, lorsqu'un gène d'un amphibien africain est inséré dans l'ADN d'une bactérie<sup>3</sup>. En 1978, un gène humain codant pour l'insuline est introduit dans la bactérie *Escherichia coli*, afin que cette dernière produise l'insuline humaine. En 1983, le Canada autorise la production commerciale d'insuline à partir d'*E. Coli* GM. Aujourd'hui, cette insuline est utilisée dans le traitement du diabète. Il existe plusieurs bactéries *E. coli* et celle utilisée dans cette application n'est pas celle qui est responsable de la maladie du hamburger (*E. coli* 0157:H7).

##### 3.1.2. Le développement d'une technique d'insertion chez les végétaux (les années 80) :

La technique la plus fréquemment utilisée pour accomplir une transgénèse chez les végétaux est le transfert du gène par l'entremise d'une bactérie du sol appelée *Agrobacterium tumefaciens*. Cette bactérie est utilisée comme véhicule du gène d'intérêt. C'est dans les années 80 que des chercheurs comprennent comment cette bactérie a la capacité de transférer son ADN dans le matériel génétique de certaines plantes. De nouvelles voies de recherche sont donc explorées. Est-ce que cette capacité pourrait être utilisée aux fins de la transgénèse? Des chercheurs de l'Université de Gand en Belgique développent alors des bactéries aptes à insérer un gène d'intérêt dans l'ADN de la plante.

##### 3.1.3. Approbation d'OGM au Canada(les années 90) :

Les années 90 sont marquées par l'approbation des OGM au Canada, notamment dans le domaine agricole. Les principales plantes GM cultivées aujourd'hui, dont le canola, le maïs et le soja, sont approuvées au cours de ces années.

En 1990 était également approuvée une enzyme utilisée pour cailler le lait, la chymosine, fabriquée à partir d'une bactérie GM

Avec l'arrivée des OGM et de la transgénèse, une question peut être soulevée. Selon les opinions de chacun, la transgénèse peut être vue comme une méthode scientifique au même titre que les méthodes utilisées précédemment. Il est également possible de considérer qu'il s'agit plutôt d'une rupture importante dans la manipulation du vivant, car elle permet

notamment de franchir la barrière des espèces. Il s'agit d'une question importante qui remet en cause certaines représentations culturelles et spirituelles sur ce qu'est la vie et ce qu'est l'être humain.[7]

### 3.2. Définition d'organismes génétiquement modifiés

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) :

On entend par organismes génétiquement modifiés (OGM) des organismes (c'est-à-dire plantes, des animaux ou des microorganismes) dont le matériel génétique (ADN) a été modifié d'une manière qui ne se produit pas naturellement par l'accouplement et/ou la recombinaison naturelle.

Cette technologie est souvent dénommée « biotechnologie moderne » ou « technologie génétique », parfois aussi « technique de recombinaison de l'ADN » ou « génie génétique ».

Bien que les termes « génétiquement modifié » et « issu du génie génétique » soient utilisés comme synonymes dans le discours public, ils ont des connotations différentes qui prennent tout leur sens dans le débat entourant l'utilisation d'OGM dans l'agriculture. (Flores, 2019)

Cette modification peut intervenir sous trois formes : ajout, suppression ou remplacement d'au moins un gène. L'objectif est de transférer dans une cellule de l'organisme receveur, un ou plusieurs gènes prélevés dans un autre organisme vivant, y compris si celui-ci n'est pas de la même espèce de l'hôte. Cette opération, appelée transgénèse, correspond à l'ensemble des techniques visant à introduire de façon stable un gène étranger dans le génome (ensemble du patrimoine génétique d'un individu) d'un organisme hôte.

Les promoteurs des cultures transgéniques parlent abusivement de cultures biotechnologiques, un vocabulaire moins préjudiciable mais qui prête à confusion.

Les techniques de transgénèse sont essentielles pour développer des connaissances en matière de génétique physiologique et biologique. Cependant, elles souffrent d'un manque de contrôle sur les conséquences qui en découlent pour l'hôte

"Les premières générations d'OGM étaient cultivées dans le but d'améliorer les caractéristiques agronomiques des plantes, principalement dans l'intérêt de l'agriculteur et notamment pour augmenter la résistance des cultures aux herbicides, insectes, maladies et sécheresses.

Les deuxièmes générations de cultures génétiquement modifiées ont permis d'obtenir des avantages plus concrets pour les consommateurs, tels qu'une augmentation de la qualité des aliments et de la biodisponibilité des nutriments", indique Le Conseil Européen de l'Information sur l'Alimentation. [8]

### 4. La transgénèse

Le technique du génie génétique –appelé **transgénèse**- consistent à extraire un ou plusieurs gènes d'un organisme (virus- bactérie- végétale ou animal), par exemple ; d'une bactérie a une plante, ou d'un humain à un animal (par exemple dans un mouton), et à les insérer dans le génome d'un autre organisme, d'une manière qui ne pourrait jamais se passer naturellement.

C'est transferts artificiels de gènes permettent de franchir les barrières entre espèces et produisent ainsi de ' nouvelle espèces' jusqu'alors inconnus de l'homme et de l'environnement. Ces espèces modifiées dans leur structure génétique en particulier les plantes transgéniques, sont aujourd'hui disséminée dans la nature et la chaîne alimentaire à une très grande échelle sans que leurs impacts sur l'environnement et la santé n'aient été correctement évalués.

Le génie génétique permet de modifier les produits de l'agriculture pour leur apporter une meilleure résistance aux maladies, aux insectes ou aux produits chimiques. Les gènes qui permettent ces changements sont prélevés chez un grand nombre d'être vivants.

En laboratoire l'éventail est très large et concerne aussi bien la médecine que l'agriculture, par exemple la production d'anticorps humaine par de souris.

Ainsi, Jean-Marie Pelt (1999) président de l'institut européen d'écologie et professeur émérite de l'université de Metz a publiée à la libération « Les organismes génétiquement modifiés(OGM) sont des chimères génétiques qui n'existaient pas il y a quelques années hors des laboratoires, c'est-à-dire des hybrides ayant acquis des caractères de être vivants d'autres espèces, ou même d'autres règnes. Ainsi, l'on trouve dans le commerce du maïs avec du patrimoine génétique de virus ou de bactérie, du maïs avec des gènes de chien ou d'homme à l'expérimentation »

#### **4.1. Les cinq catégories de gène en cause**

##### **4.1.1. La résistance aux insectes**

Est conférée aux plantes par des gènes codant une forme tronquée d'endotoxines protéiques fabriquées par certaines souches d'une bactérie du sol, *Bacillus thuringiensis*(BT).

Il existe dans la nature de nombreuses formes de ces toxines, active sur différentes espèces d'insectes. Les plantes génétiquement modifiés résistantes aux insectes portent des gènes de type cry1(A), dont les produits sont spécifiquement toxiques pour des lépidoptères comme la pyrale.

Pendant près de quarante ans, tout en serre qu'en culture à ciel ouvert, on a utilisé comme pesticides des suspensions de bactéries productrices de ces toxines Cry1A, sans observer d'effet indésirable chez les personnes les manipulant ou chez les consommateurs des produits traités.

Ces pulvérisations sont officiellement, autorisées chez les producteurs 'bio' qui craignent fortement, aujourd'hui que les insectes soient en train de développer une résistance à leur endroit.

##### **4.1.2. Les gènes conférant une résistance à certains herbicides.**

En prévision de l'adoption par l'UE d'une législation favorable, on a introduit dans des plantes un gènes conférant une résistance à la fois à l'ammonium de glufosinate de l'herbicide

Basta ( Basta est un herbicide fabriqué par AgrEvo , joint –venture entre Hoechst et schering group Avanti')et au glyphosate du Roundup (Roundup est l'herbicide phare de Monsanto ) .Le glyphosate agit en inhibant une enzyme impliquée dans la synthèse d'acides aminés aromatiques nécessaires à la plante pour fabriquer ses nombreuses protéines et pour d'autre fonction.

On introduit dans la plante un gène bactérien codant cette même enzyme mais légèrement différente : elle reste capable de fabriquer les acides aminés tout en résistant aux effets du glyphosate.

Les mauvaises herbes et les autres plantes sont donc tuées par l'herbicide, alors que la plante génétiquement modifiée prospère sans concurrence.

#### **4.1.3. Les gènes marqueurs codant une résistance aux antibiotiques.**

On en a beaucoup parlé parce qu'ils font craindre que les bactéries pathogènes ne deviennent encore plus résistantes aux antibiotiques indispensables pour traiter les infections. Ces gènes ont été utilisés comme « marqueurs de sélection » pour faciliter le repérage des cellules dans lesquelles le gène voulu avait été introduit.

Aujourd'hui cette fonction ne justifie plus le recours à ces gènes, qui témoigne plutôt de l'attitude cavalière de certaines firmes de biotechnologie face aux inquiétudes du public.

En pratique, les deux principaux marqueurs de sélection codant respectivement pour la résistance à la Kanamycine /neomycine et à la streptomycine, antibiotique très peu utilisés en médecine humaine.

Il existe bien un certain risque de voir ces gènes de résistance se transformer et s'exprimer dans les bactéries normales du tube digestif, mais ce n'est pas très grave car environ 40% des micro-organismes de l'intestin humain sont déjà résistants à ces antibiotiques.

#### **4.1.4. Gènes entraînant la stérilité du mâle**

C'est la fameuse technologie « terminator » à laquelle Monsanto a récemment renoncé.

Le gène 'barnase' code une ribonucléase, et il est contrôlé de manière à ne s'exprimer que dans le pollen, où il s'oppose à l'expression des molécules d'acide ribonucléique nécessaires à la fécondité.

Ces gènes et sa contre partie, le gène « barstar », inhibiteur de la ribonucléase, ont été utilisés avec succès en Europe pour empêcher l'autofécondation et permettre la Production de semences hybrides homogènes des salades.

#### **4.1.5. Gènes servant à en réduire d'autre au silence**

La technique consiste à introduire un exemplaire supplémentaire du gène cible, mais orienté en sens inverse (antisens) ou encore dans le sens normal mais sous une forme tronquée.

La présence de cet exemplaire supplémentaire bloque le processus de l'enzyme cible.

L'exemple le plus connu est celui de la poly galacturonase responsable du ramollissement du fruit.

Deux demandes d'autorisation ont également été déposées en Europe pour des pomme de terre dont les synthèses granulaires sont inhibées afin de produire un amidon doté de propriétés intéressantes pour l'industrie. (Sharaf Abdelgalil, 2004)

#### 4.2. Les étapes de la transgénèse

##### **Etape 1 : Identification, isolement, intégration, et multiplication d'un gène d'intérêt**

La première étape est l'identification chez une espèce donneuse d'un **caractère d'intérêt** (résistance à certains insectes, à certaines maladies, à des herbicides, qualité nutritionnelle...) que l'on souhaite introduire dans une plante (espèce receveuse). Le gène d'intérêt peut provenir de tout organisme vivant, bactérie, plante ou animal puisque le code génétique est universel. Ce gène doit être isolé de l'**organisme donneur**. Il est intégré dans une **construction génétique** associant souvent un **gène marqueur**. Ce dernier permet de sélectionner les cellules qui ont intégré le gène d'intérêt. La construction est ensuite multipliée (clonage) afin d'en disposer d'une quantité suffisante d'ADN pour son introduction dans les cellules végétales que l'on veut transformer. [9]

##### **Étape 2 : Transfert du gène d'intérêt dans les cellules receveuses**

Transfert du gène d'intérêt par transformation biologique La transformation est une forme d'échange de matériel génétique (ADN), que l'on retrouve essentiellement chez les bactéries, de manière naturelle. Cette technique va utiliser une autre bactérie nommée *Agrobacterium*, capable de transformation, pour transférer le gène d'intérêt Bt dans les cellules végétales. Dans un premier temps, la culture *E. coli* contenant le gène Bt (de l'étape précédente) est mise en culture avec les bactéries *Agrobacterium* pour une première transformation. Puis, *Agrobacterium* est transférée avec des cellules végétales où le gène Bt sera introduit dans l'ADN des cellules receveuses par transformation.

Transfert direct du gène d'intérêt dans l'organisme receveur Le transfert direct consiste en l'injection directe du gène d'intérêt Bt dans les cellules végétales. Ceci peut se réaliser de deux manières différentes : soit par électroporation, soit par canon à particules. Dans les deux cas, les plasmides contenant le gène Bt qui ont été multipliés à la fin de l'étape 1 sont extraits des bactéries *E. coli*. O Electroporation Les cellules végétales receveuses et les plasmides ayant le gène Bt de l'étape 1 sont mis dans une cuve soumise à un champ électrique. Ceci va créer la formation de pores dans la membrane des cellules végétales, ce qui va permettre le passage des plasmides dans les cellules et l'intégration du gène Bt dans leur génome.

Canon à particules Le gène Bt est d'abord associé à des microbilles de tungstène. Puis, ces billes sont insérées dans un canon à particules, qui va projeter le gène Bt dans les cellules végétales receveuses. (Dacheux, 2018)

### **Étape 3 : Régénérer et évaluer les plantes transformées**

Après sélection des cellules transformées, il faut régénérer les nouvelles plantes transgéniques. Les cellules transformées se développent d'abord en cals, larges amas de cellules indifférenciées. Après quelques semaines, on observe le développement de pousses. Elles sont alors placées dans un nouveau milieu de culture permettant le développement des racines. Quand les racines sont suffisamment développées, les plantules sont repiquées en pot et acclimatées en serre.

La régénération *in vitro* des cellules transformées est une étape difficile à maîtriser. Aussi, le génotype, le type de tissus et les conditions de culture sont choisis en fonction de leur aptitude à la régénération.

Les plantes régénérées sont ensuite analysées à différents niveaux :

- Moléculaire : nombre de copies de transgène et intensité de son expression
- Biochimique : présence de l'enzyme traduite et de son activité
- Physiologique : morphologie de la plante, paramètres de croissance, photosynthèse, reproduction
- Agronomique : comportement en champ et paramètres agronomiques
- Ecologique : effet éventuel sur l'environnement

### **Étape 4 : Incorporer dans une variété commerciale**

Les plantes transformées obtenues sont soumises à des croisements contrôlés pour étudier les modalités de transmission du nouveau caractère à la descendance.

La transformation et la régénération étant des opérations délicates, le génotype de la plante choisie est celui facilitant ces étapes. C'est pourquoi les plantes retenues sont ensuite soumises à une succession de rétrocroisements afin d'introduire le gène dans la matérielle élite et d'obtenir de nouvelles variétés commerciales exprimant ce caractère. [10]

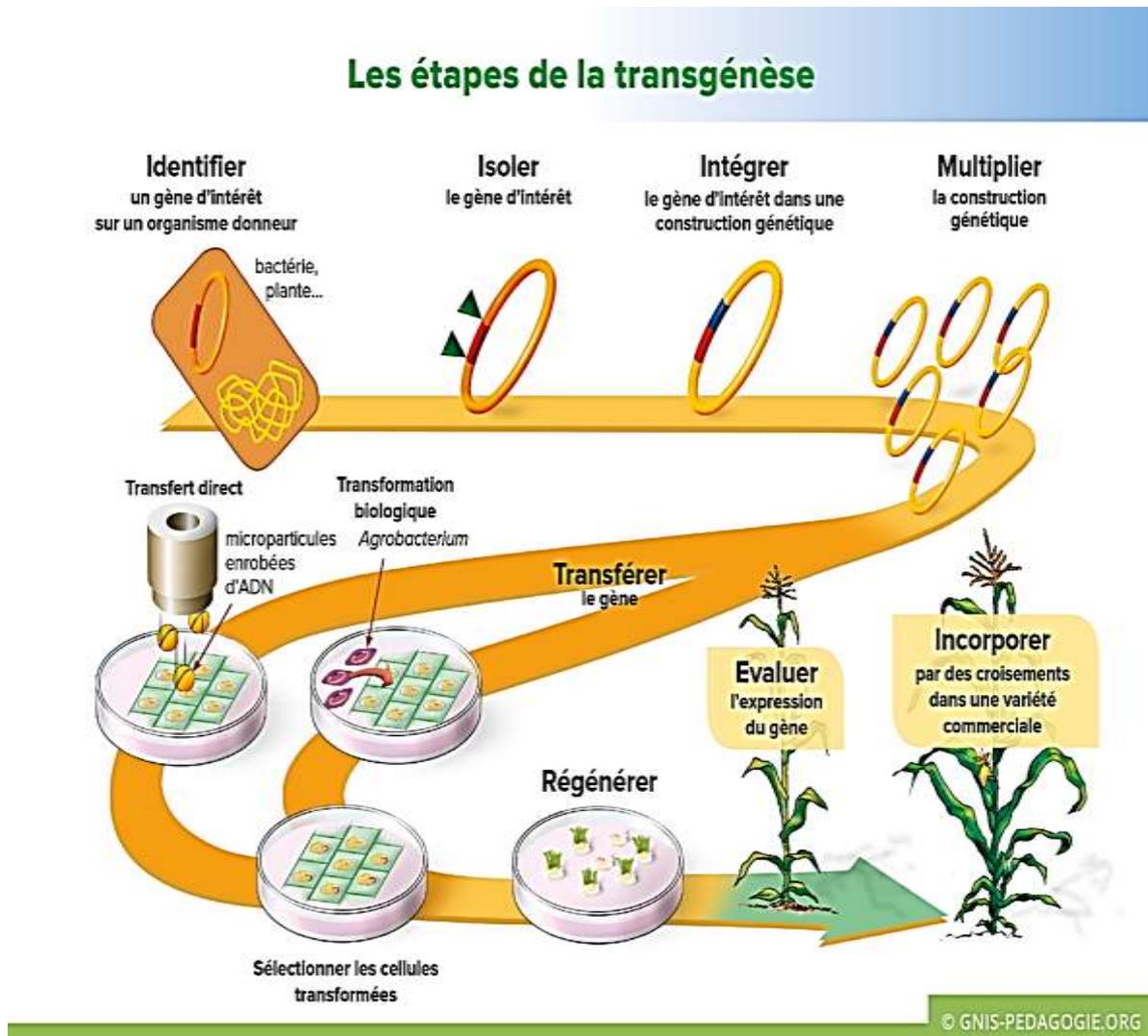


Figure 5: Les étapes de la transgénèse. [10]

## 5. La création d'organismes transgéniques

La création d'organismes transgéniques comprend les étapes suivantes :

- Elaboration d'une construction génique, qui constitue le matériel génétique à introduire;
- Transfert de la construction génique dans un oeuf fécondé unicellulaire;
- Incorporation du matériel génétique au génome de la cellule hôte;
- Sélection des hôtes dont le génome a effectivement intégré la construction génique.

L'incorporation dans le génome de l'hôte permet au gène inséré de se transmettre de génération en génération. La création des variétés transgéniques de végétaux tels que le maïs et le riz se fait au moyen de vecteurs bactériens et viraux. En comparaison, la plupart des animaux transgéniques se créent par micro-injection d'une construction génique dans le génome de l'embryon<sup>5, 6</sup>. Le fait de ne pas utiliser de virus ou d'éléments transposables (c'est-à-dire de séquences d'ADN capables de se détacher d'un génome, puis de se réinsérer ailleurs dans celui-ci) pour créer un animal transgénique permet de réduire le risque de déplacement inattendu du matériel génétique au sein du génome, ce qui constitue un facteur de salubrité important lorsque l'animal ou ses produits sont destinés à la consommation humaine. Il faut également prendre en compte la perception du public à l'égard des risques associés à la consommation de produits alimentaires provenant d'animaux génétiquement modifiés.

Alors que plusieurs animaux transgéniques destinés à la consommation humaine en sont à un stade avancé de mise au point, à ce jour aucun d'eux n'a reçu d'agrément de salubrité permettant sa commercialisation de la part de la FDA (agence fédérale américaine des aliments et produits pharmaceutiques) ou des organismes de réglementation canadiens. Au Canada, l'approbation réglementaire des aliments transgéniques s'obtient auprès de Santé Canada, et ces aliments sont soumis aux dispositions du titre 28, Aliments nouveaux, du Règlement sur les aliments et drogues. Aux fins des demandes d'approbation pour la consommation humaine, les animaux transgéniques sont actuellement traités comme de « nouveaux médicaments à usage vétérinaire ». Deux animaux transgéniques en cours de développement sont l'EnviropigMC (de la Commission ontarienne de commercialisation du porc, ou *Ontario Pork*) et le saumon AquaAdvantage (de la société AquaBounty Technologies,

Inc., domiciliée dans le Massachusetts). (**Le Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 2013**)

## **6. Variétés d'organismes génétiquement modifiés**

Les organismes génétiquement modifiés homologués par Santé Canada se classent essentiellement en produits résistant aux herbicides et/ou insecticides, en produits résistant à certains virus végétaux, en produits dont la teneur en acide gras est différente de l'aliment déjà utilisé, et en produits dont le

vieillessement est retardé. Les quarante-trois évaluations de Santé Canada concluent, selon les informations fournies, à la faiblesse du risque associé à la consommation de ces aliments transgéniques. (**Fortin et al, 2001**)

Les deux aspects de la production agricole, la culture et l'élevage, utilisent la génie génétique pour améliorer les performances des plantes et des animaux. Aussi pour répondre aux exigences de productivité, de qualité et de résistance aux parasites, les O.G.M sont fabriqués. Les trois principaux types d'O.G.M sont:

### **6.1. Animaux transgéniques**

Les animaux transgéniques sont plus difficiles à obtenir et ne sont pas encore commercialisés à des fins de consommation. Différents organismes sont utilisés en laboratoires comme espèces modèles en recherche fondamentale, et peuvent être génétiquement modifiées.

### **6.2. Plantes transgéniques**

Les principales plantes cultivées, par exemple le soja, le maïs, le cotonou encore le tabac, ont des versions génétiquement modifiées, avec de nouvelles propriétés agricoles : résistance aux insectes, résistance à un herbicide, résistance accrue à la sécheresse, enrichissement en composant nutritifs,...etc. Les principales plantes O.G.M cultivées en 2006 sont le soja, qui sert à l'alimentation du bétail, et le maïs.

### **6.3. Bactéries transgéniques**

De nombreux micro-organismes (bactéries, algues, levures) sont relativement faciles à modifier et à cultiver, et sont un moyen relativement économique pour produire des protéines particulières : insuline, hormone de croissance, ...etc. Des essais sont également menés dans le même but à partir de mammifères, en visant la production de la protéine recherchée dans le lait, facile à recueillir et traiter. (**AISSOUS et al, 2011**)

**Chapitre II :**  
**Aliments Génétiquement**  
**Modifiés**

### **1. Définition :**

Les aliments génétiquement modifiés (GM) sont produits à partir de cultures, d'animaux ou de microorganismes dont le matériel génétique a été altéré à l'aide de techniques de l'ADN recombinant, afin d'acquérir certains caractères spécifiques. Les techniques de l'ADN recombinant consistent à combiner des gènes de différents organismes, parfois d'espèces différentes. On dit de l'organisme ainsi produit qu'il est « génétiquement modifié » ou « transgénique ». Pour ce faire, un gène conférant des caractères désirés est isolé à partir d'un organisme (Bactérie, Virus, Animal ou Plante) et introduit dans la plante ou l'animal receveur. Les aliments GM sont donc ceux produits à partir de ces cultures ou organismes GM. Les produits GM actuels ne se limitent pas aux aliments mais incluent également différents produits bénéfiques dont les remèdes (p. ex. l'Insuline), les vaccins, les aliments destinés à la consommation animale et les fibres.[11]

### **2. Recherches dans le domaine des aliments fonctionnels génétiquement modifiés.**

La conférence intitulée Plant Foods for Human Health : Manipulating Plant Metabolism to Enhance Nutritional Quality qui s'est tenue dans l'État du Colorado du 6 au 11 avril 2001, sous l'égide de l'association des conférences académiques Keystone Symposia on Molecular and Cellular Biology, a présenté les découvertes les plus récentes dans le domaine des aliments et cultures génétiquement modifiés pour améliorer leur profil nutritionnel. Le tableau 2, qui suit présente un résumé des recherches qui ont été présentées à ce symposium en plus d'un recensement des écrits couvrant d'autres recherches scientifiques sur les manipulations de cultures visant à améliorer leur profil nutritionnel. Ce tableau n'est pas une liste exhaustive, mais il contient les principales recherches qui s'effectuent actuellement dans le domaine. (Huot, 2002)

**Tableau 2:** Recensement des recherches sur les aliments issus de modifications génétiques. (Huot. 2002)

Culture	Modification génétique	Avantages
Riz doré	Introduction du gène de la jonquille (Phytoenedesaturase), un autre d'une bactérie ( Phytoenedesaturase d'origine bactérienne) et un autre qui est un gène de résistance à l'hygromicine (antibiotique utilisé pour sélectionner les plants transgéniques) dans du riz pour qu'il produise de la bêta-carotène, le précurseur de la vitamine A.	Ce riz pourrait aider à prévenir les carences en vitamine A qui peuvent causer certains problèmes de santé comme la diarrhée, la rougeole, ainsi que des maladies oculaires.
Pomme de terre	Modification de la pomme de terre pour qu'elle produise plus d'amidon	En produisant davantage d'amidon, la pomme de terre absorbe moins de matières grasses lorsqu'elle est plongée dans l'huile durant la cuisson.
Tomate	La tomate est modifiée génétiquement pour contenir quatre fois la quantité normale de lycopène, un caroténoïde. La biosynthèse de ce composé à l'aide d'enzymes est maintenant bien connue. Tous ces enzymes ont été clonés et on tente maintenant de les faire accumuler dans la tomate.	Les caroténoïdes sont des antioxydants puissants. Ils peuvent diminuer le risque de maladies coronariennes et de certains types de cancer.

Culture	Modification génétique	Avantages
Riz (et autres plantes)	Incorporation de protéines de soya porteuses de fer dans les semences de riz pour qu'il produise environ trois fois plus de cette vitamine que le riz conventionnel. Des recherches se font aussi pour augmenter le contenu en fer de d'autres plantes à partir de certaines composantes du pois ( <i>Pisum sativum</i> ).	Le fer prévient l'anémie et certains troubles d'apprentissage chez les enfants. De plus, il permet d'avoir une plus grande résistance aux infections.

Ces cultures pourraient être commercialisées d'ici environ une dizaine d'années. Cependant, certaines sont déjà autorisées en champ. Parmi celles-ci on retrouve le maïs, la fève de soya, la tomate, la pomme de terre, le canola, le riz, le blé, l'avoine, la luzerne, la laitue, le lin, le café, le raisin, la poire, la pomme, le melon, le piment et la prune. En effet la génomique et la protéomique<sup>12</sup> sont deux champs de la science qui accélèrent le développement des aliments et cultures issus de la seconde génération de modifications génétiques. Le génome de certaines plantes est maintenant connu. Ces développements permettent ainsi de caractériser ainsi que de cloner plus rapidement des gènes nutritionnels utiles pour les transférer ensuite dans les cultures déficientes.

En plus du domaine végétal, les recherches pour l'amélioration des qualités nutritives d'un aliment s'étendront aussi au domaine animal. Selon le rapport du comité de la Société Royale du Canada, la modification des caractéristiques biochimiques de la chair de poisson pour améliorer la valeur nutritive ou les qualités organoleptiques, pourrait faire une demande d'approbation auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) au cours des dix prochaines années. De plus, certaines recherches visent de plus en plus à travailler sur l'amélioration nutritive de la viande, donc des animaux d'élevage, des œufs et du lait. (**Huot. 2002**)

### **3. Les aliments d'origine végétale**

#### **3.1. Exemples de produits végétaux transgéniques actuellement en développement**

##### **a) Modification de caractères agronomiques**

- Introduction de la tolérance à un herbicide dans la betterave sucrière, le blé, la luzerne, la canne à sucre, la pomme de terre, les produits forestiers et autres végétaux.

- Introduction de la résistance aux insectes dans la tomate, la canne à sucre, le soya, le colza, l'arachide, l'aubergine et le peuplier. Cela inclut l'utilisation de toxines Bt ayant des spécificités différentes et le développement d'autres toxines afin de diminuer les problèmes liés à l'apparition éventuelle d'une résistance au Bt.

- Introduction de la résistance aux maladies causées par des virus, des champignons ou des bactéries dans le maïs, la pomme de terre et autres végétaux.

- Introduction des gènes codant pour d'autres traits agronomiques comme la tolérance au temps sec, la tolérance au froid, l'augmentation de l'activité photosynthétique, l'utilisation plus efficace de l'azote, la capacité de pousser dans des sols salins, etc.

##### **b) Modification de caractéristiques alimentaires**

- Huile de canola ou de soya pauvre en gras saturés.

- Canola riche en bêta carotène (antioxydant).

- Tomate contenant un haut niveau de lycopène (agent anticancéreux).

- Céréales avec un contenu optimal en acides aminés.

- Riz riche en fer.

- Betterave sucrière produisant du sucre faible en calories.

- Maïs et fraises ayant un niveau de sucre plus élevé afin d'en accroître la saveur.

- Tomate et pomme de terre plus fermes.

- Melon, fraise, framboise, cantaloup au mûrissement retardé.

- Modification du niveau de gluten contenu dans le blé afin d'en changer les caractéristiques de cuisson.

- Café naturellement décaféiné.

### c) **Agriculture moléculaire végétale**

Utilisation des plantes comme bioréacteurs afin de leur faire synthétiser des molécules complexes que les bactéries n'arrivent pas à produire de façon satisfaisante. Exemples :

- Anticorps monoclonaux dans le maïs et la pomme de terre (MPB Cologne Allemagne).
- Hormone de croissance humaine dans des chloroplastes de tabac.
- Protéines sanguines dans la pomme de terre.
- Vaccin de la dysenterie dans la banane.
- Vaccin de la rage dans le maïs. (Cliche, 2002)

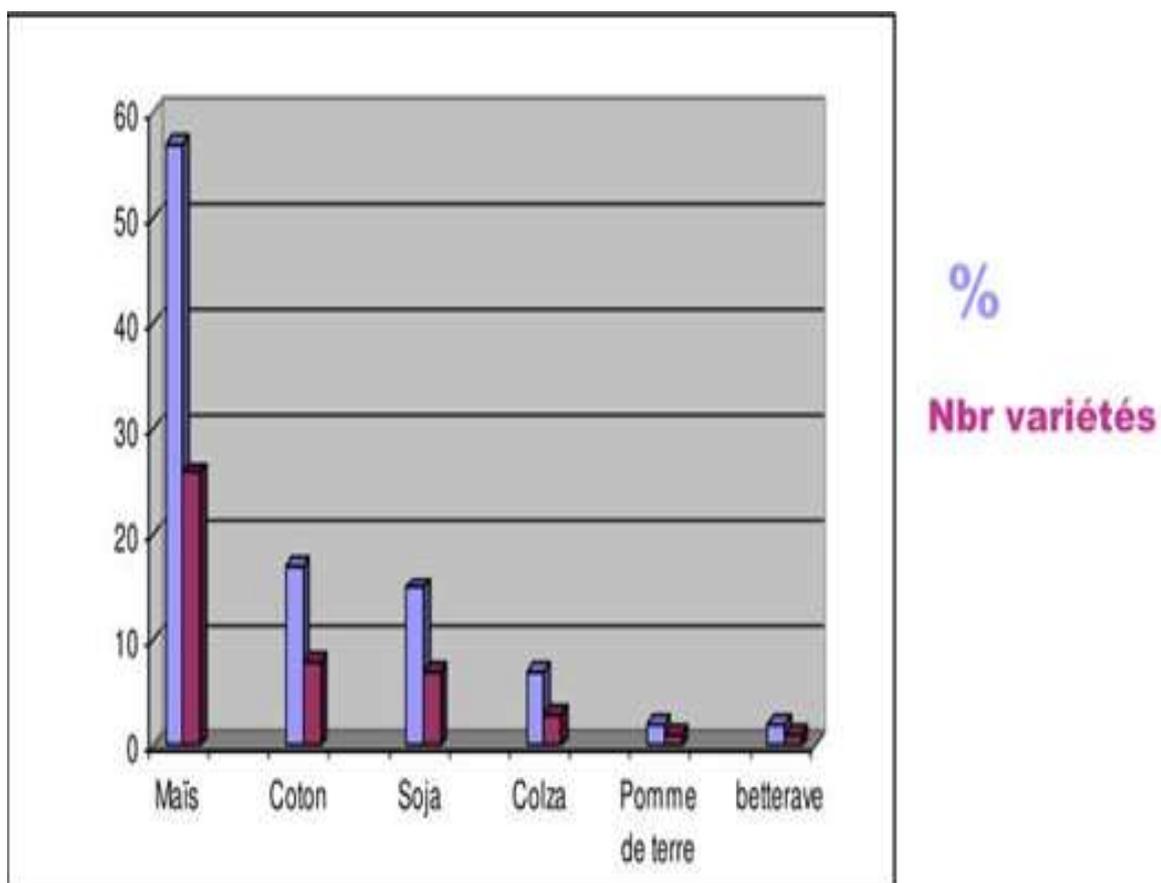
### **3.2. Les cultures transgéniques à l'échelle mondiale**

Les superficies mondiales consacrées aux cultures transgéniques ont augmenté (Figure 6) en moyenne de plus de 70 % par an. En 1996, la superficie mondiale totale était de 1,7 millions d'hectares. En 2005, elle a atteint 90 millions d'hectares.

Le rythme de croissance des superficies cultivées a été dans un premier temps très rapide. Toutefois, à partir de 2000, cette croissance a diminué. Les pays principalement responsables de ce ralentissement sont le Japon et l'Union européenne, en raison des réglementations introduites, notamment en Europe. Celles-ci ont entraîné une chute des exportations de maïs en provenance des États-Unis vers l'Union européenne; exportations qui ont connu un fléchissement passant de 137 000 tonnes à 17 900 tonnes entre 1999 et 2000.

En 2005, les variétés GM concernaient 21 pays versus 17 pays en 2004. En ce qui concerne le nombre de producteurs agricoles utilisant les OGM, il s'est accru entre 2004 et 2005, passant de 8,25 millions à 8,5 millions<sup>8</sup>. Le taux de croissance annuel des superficies consacrées aux cultures GM reste non négligeable : il se situe autour de 11 % entre 2004 et 2005.

La répartition des cultures GM diffère selon le critère considéré. Alors qu'en 2005, 90 % des producteurs de cultures GM vivent dans des pays en voie de développement, 96,8 % de la surface mondiale des cultures GM est concentrée dans seulement six principaux pays : les États-Unis, l'Argentine, le Canada, la Chine, le Brésil et le Paraguay; les États-Unis cultivant à eux seuls 55 % des récoltes de cultures GM mondiales. (CLOUTIER. 2006)



**Figure 6:**Principales cultures PGM. [12]

### 3.2.1. Les céréales transgéniques

Les céréales représentées principalement par le riz, le maïs, le sorgho et le blé sont les aliments de base dans plusieurs pays dont les pays en voie de développement à l'instar du Cameroun. D'après l'Organisation Mondiale du Commerce(2007), les principales importations de produits alimentaires au Cameroun sont le riz, le blé et le maïs.

La bactérie *Bacillus thuringiensis* (Figure 7) constitue un véritable réservoir de gènes de résistance aux insectes. En effet, les différentes souches de cette bactérie du sol recèlent plusieurs protéines insecticides ayant différents modes d'action, et affectant uniquement certains insectes. Chacune de ces protéines est codée par un seul gène, c'est donc un caractère facilement transférable par génie génétique. Plusieurs équipes ont obtenu des tabacs, des pommes de terre, des cotons, des tomates et des maïs résistants à des insectes grâce à cette source de gènes.

Dans le cas du maïs, la résistance à la pyrale est conférée par le gène CryA, appelé communément Bt. Ce gène permet aux cellules du maïs de produire une protéine qui se transforme en toxine dans le tube digestif de la pyrale. Chez les autres animaux et chez l'homme, cette protéine est simplement digérée sans aucun effet toxique. [13]

#### a) Le maïs

Le maïs est une plante herbacée tropicale annuelle, largement cultivé comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère. Le terme maïs désigne aussi le grain lui-même. Originaire du Mexique, le maïs constituait l'aliment de base des Amérindiens avant l'arrivée en Amérique de Christophe Colomb. Compte tenu de sa place centrale dans la culture des anciennes civilisations d'Amérique centrale et méridionale, il existe même un dieu du maïs Centeotl dont le nom signifie littéralement «dieu du maïs». En Amérique du Nord et en Amérique Centrale, le maïs était cultivé avec la courge et le haricot en utilisant la technique dite «des trois sœurs».[14]

Le maïs est semé entre avril et mai. Vient alors la germination : la racine principale, ou radicule, perce la paroi du grain. Puis la première feuille apparaît à la surface du sol : c'est la levée. La plante fleurit en juillet-août. Début juillet, les parties mâle et femelle se forment : le bourgeon terminal devient le panicule (la fleur mâle), tandis que certains bourgeons forment les épis (la fleur femelle). De mi-juillet à mi-août, le panicule émet du pollen : les ovules sont fécondés et les feuilles terminent alors leur croissance.

De la fin de l'été jusqu'à début octobre, ces ovules fécondés grossissent : c'est ainsi que les grains se forment. Ils se remplissent en stockant sucres (amidon), protéines et matières grasses. En octobre, la plante arrive à maturation. Elle est prête pour la récolte, qui s'étend jusqu'à novembre.[15]

Le maïs est aujourd'hui cultivé mondialement et est devenu la première céréale mondiale devant le riz et le blé. Il est toujours à la base de l'alimentation en Amérique Centrale et en Amérique du Sud (farine, tortilla...). Le maïs est devenu le symbole de l'agriculture intensive aux États-Unis et en Europe de l'Ouest. Il est cultivé dans près de 150 pays sur les cinq continents. En mode industrielle, sa culture nécessite l'achat de semences, de pesticides et de fertilisants auprès des compagnies de biotechnologies. Le maïs est aussi une plante exigeante en soins et en travail, sa culture demande du matériel et donc des investissements importants, et la mise en place de système d'irrigation (en zone non tropicale).[14]

- **Le maïs transgénique**

Les cultures génétiquement modifiées de maïs produisant des toxines de *Bacillus thuringiensis* - ou cultures " Bt " - sont de plus en plus cultivées à l'échelle mondiale. Ces toxines, produites dans les tissus de la plante, les protègent contre les insectes qui s'en nourrissent. Ces mêmes toxines, cette fois produites directement par le *B. thuringiensis* et non par une plante, sont aussi utilisés comme insecticides conventionnels et figurent dans la liste des insecticides autorisés en agriculture biologique. L'utilisation des cultures Bt à grande échelle risque d'entraîner la sélection de résistances chez les insectes, ce qui rendrait à terme, ces cultures transgéniques, et plus généralement l'usage de ces toxines, inefficaces.

La mise en place d'une stratégie haute dose-refuge (HDR) dont le but est d'éviter ou de retarder dans le temps l'apparition de ces résistances, est obligatoire aux États-Unis et en discussion en Europe. La stratégie HDR demande, notamment, une cohabitation entre les parcelles de cultures Bt et de cultures conventionnelles exemptes de toxines de Bt - dites " zones refuges ". Les parcelles des deux types doivent être suffisamment proches pour assurer le brassage génétique entre les insectes résistants - qui seraient éventuellement sélectionnés dans les parcelles de cultures Bt - et les insectes sensibles - préservés dans les zones refuges. Bien entendu, ce brassage dépend aussi des capacités de dispersion des insectes et de l'ordre chronologique dans lequel se déroulent l'accouplement et la dispersion.[16]

- **La Pyrale du maïs**

Aux tats-Unis, comme en France, la Pyrale du maïs (Figure 8) est un ravageur important du maïs.

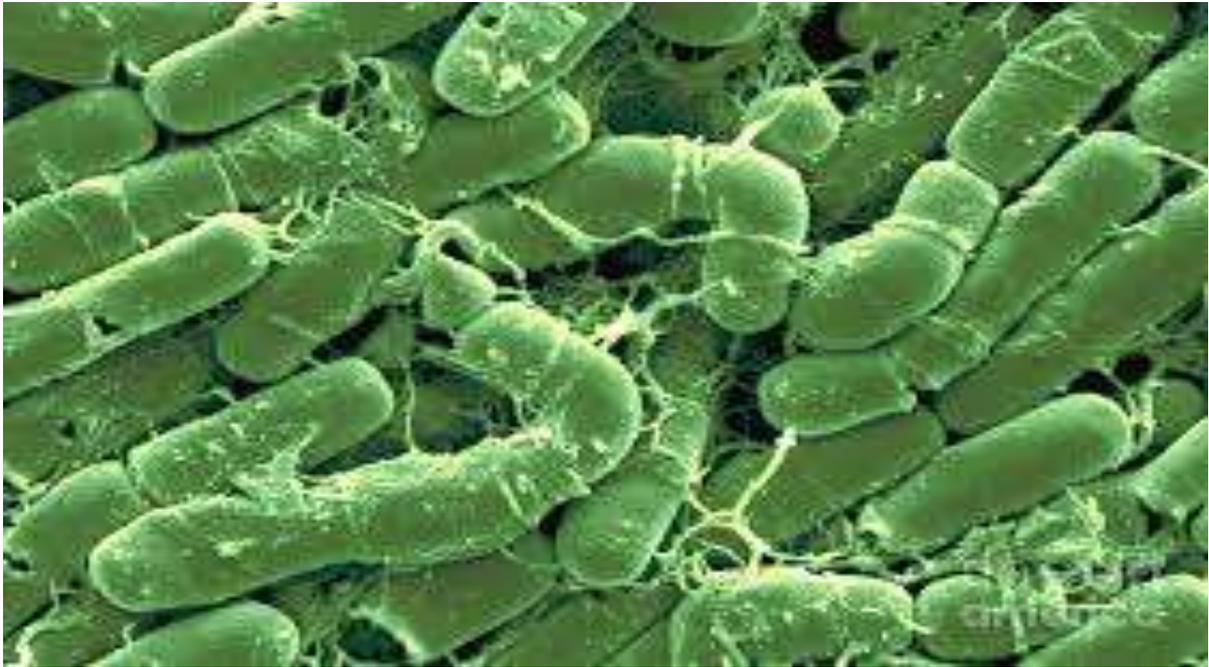
Depuis l'évolution technologique du génie génétique, l'utilisation de maïs transgéniques peut venir compléter, voire remplacer, ces moyens de lutte contre l'insecte. En effet, les premières variétés de maïs transgénique produisent des toxines de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt), qui confèrent à ces nouvelles variétés une résistance vis-à-vis de la Pyrale du maïs.

La communauté scientifique estime probable l'apparition de populations de Pyrale du maïs résistantes aux toxines produites par ces maïs Bt. L'une des raisons est que les plantes transgéniques actuelles n'expriment qu'une toxine, ce qui facilite l'apparition d'individus résistants. La seconde raison est que la pression de sélection sur les insectes est plus forte avec les plantes transgéniques que lors d'une pulvérisation de formulation contenant des cristaux et des spores de *Bacillus thuringiensis*.

Certaines variétés de maïs couplent un événement Bt et une résistance à un herbicide, mais ces variétés sont très peu diffusées. Par ailleurs, les données désagrégées par Etat montrent que la diffusion du maïs Bt peut dépasser 30%, mais reste toujours en dessous de 50%.

Ces données laissent penser que la diffusion du maïs Bt est proche d'un plafond situé entre 25 et 30% des surfaces de maïs. Deux principales explications peuvent être apportées :

- comme la semence de maïs Bt est plus chère que la semence conventionnelle, l'adoption du maïs Bt est intéressante si la prévision d'attaque de la Pyrale du maïs dépasse un certain seuil. Or cet insecte ne constitue pas un véritable problème agronomique pour de nombreux producteurs de maïs aux tats-Unis (c'est également le cas en France) ; entre 1996 et 2001, la diffusion des semences Bt s'est accompagnée d'une réduction de la taille des populations d'*O. nubilalis*. Ceci a pu conduire les producteurs de maïs à relativiser l'intérêt de l'adoption du maïs Bt. Il est difficile de savoir s'il y a un lien de cause à effet entre la diffusion des maïs Bt et cette baisse des populations du ravageur (d'autant que ses populations ont été plus denses en 2002 qu'en 2001)(Tableau 3).(Bourguet *al*, 2003)



**Figure 7:** *Bacillus thuringiensis* au microscope. [13]

**Tableau 3:** Evolution des surfaces de maïs semées avec des variétés de maïs Bt .(Bourguet et al., 2003)

Année	Maïs Bt	Maïs Bt et tolérant à un herbicide
1996	1%	0%
1997	6%	0%
1998	21%	4%
1999	25%	4%
2000	19%	2%
2001	18%	1%
2002	22%	2%

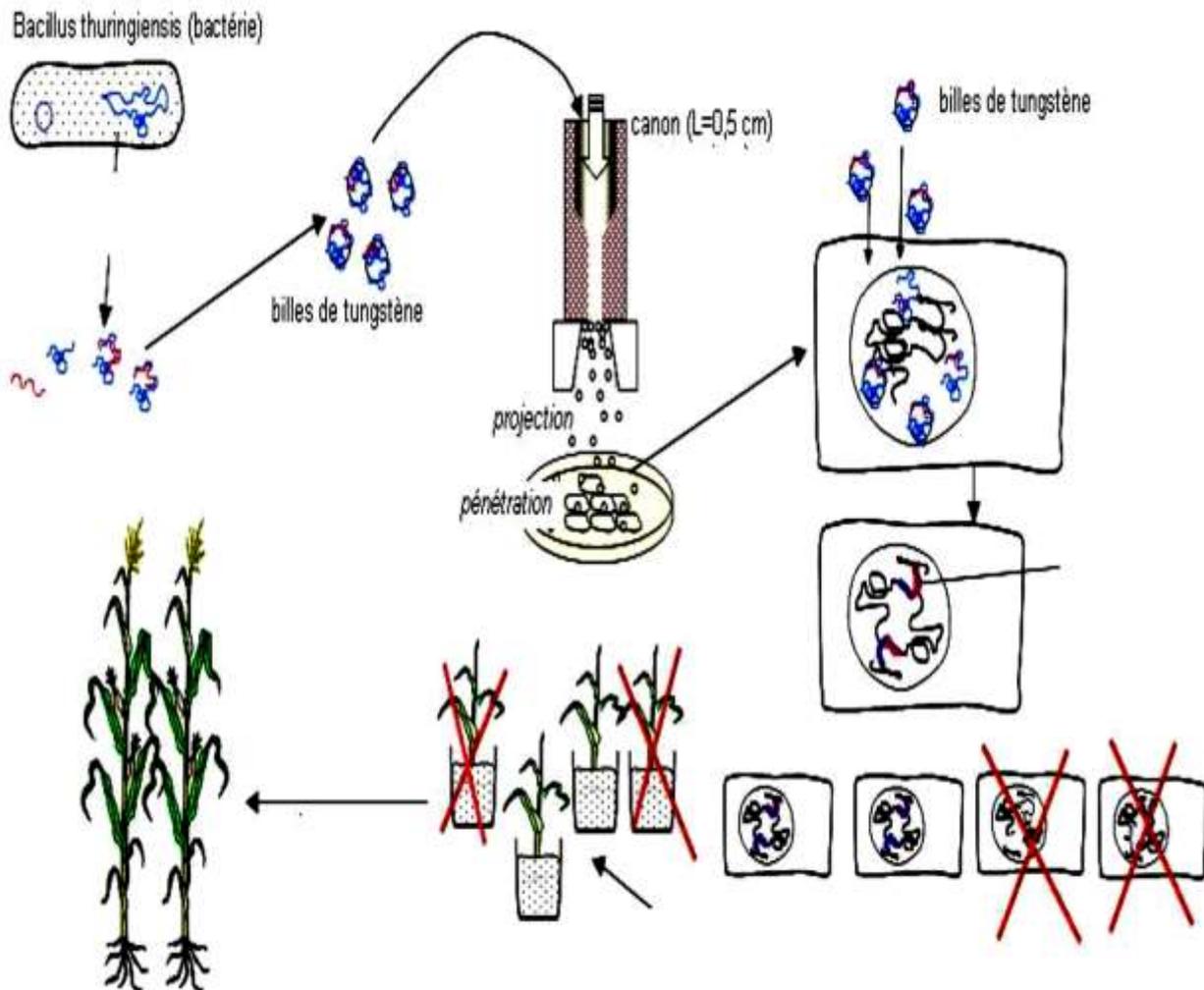


Figure 8: schéma des étapes de la construction du Maïs résistant à la pyrale. [17]

### b) Le riz :

Le riz est la principale denrée vivrière de base. Plus de quatre-cinquièmes du riz dans le monde est produit et consommé par les petits exploitants des pays en développement à faible revenu. Plus de la moitié de la population mondiale dépend du riz comme source quotidienne principale de calories et de protéines. Chacune de ces personnes consomme entre 100 et 240 kg de riz par an, selon la FAO. [18]

- **Le riz doré**

Le riz doré est un riz qui a été génétiquement modifié par une équipe de recherche de l'institut fédéral de technologie de Suisse. Deux chercheurs se sont plus particulièrement intéressés à ce sujet : M.Ingo Potrykus, professeur en phytologie à l'institut fédéral de technologie de Suisse, et son principal collaborateur, M. Peter Beyer, de l'Université de Fribourg en Allemagne .M. Potrykus voulait créer un riz en réponse à une malnutrition croissante des pays en voie de développement. Se rendant compte que l'alimentation de base de ces pays était le riz, il a opté avec son équipe pour modifier du riz afin de lutter contre la carence en vitamine A.

Il existe naturellement dans l'enveloppe du riz une voie de biosynthèse du b-carotène (pigment précurseur de la vitamine A) mais celle-ci ne s'exprime pas dans son albumen (dans le grain). Or l'enveloppe du riz étant traditionnellement éliminée de manière à améliorer la conservation du riz, les grains de riz consommés ne contiennent donc plus de b-carotène.

Afin de pallier cette carence, les chercheurs ont travaillé sur une variété courante de riz blanc, le riz Japonica (Taipei 309, adapté au climat tempéré de l'Europe), leur but étant de recréer la voie de biosynthèse du b-carotène.

Pour cela la plante doit convertir un précurseur naturellement présent dans l'albumen du grain de riz (partie comestible) en b-carotène ou provitamine A. Ce précurseur, le pyrophosphate de géranylgeranyle (GGPP), est le point de départ du processus de synthèse. Cependant, les enzymes responsables de la transformation du GGPP en b-carotène ne sont pas présents dans l'endosperme.

Le professeur Potrykus et son équipe ont donc introduit des gènes étrangers codant pour ces enzymes et assurant la coordination de leurs réactions. Trois gènes sont concernés : deux d'entre eux, nouveaux dans le domaine des manipulations génétiques, proviennent de la

jonquille et le troisième provient d'une bactérie (*Erwiniauredovara*) ayant déjà été utilisée. Les modifications génétiques permettant au riz de produire du b-carotène lui confèrent une couleur inhabituelle (jaune très pâle), d'où le nom de « riz doré » (Figure 9). Ce riz produit 1.6 µg de b-carotène par gramme d'albumen et les auteurs espèrent une production de 2 µg dans les lignées dérivées à venir. Une fois assimilé, le b-carotène est transformé en vitamine A au niveau de l'intestin.

Mais sa réelle efficacité n'ayant pas encore été démontrée, le riz doré suscite de nombreux débats scientifiques. (Alvarez et al.2005)



**Figure 9:** Le riz doré et le riz blanc. [19]

### c) Transformation génétique chez les légumineuses

#### • Transformation génétique sur le soja

Des méthodes efficaces ont été mises au point pour l'introduction de gènes étrangers dans la plupart des plantes cultivées. Cette technologie est utile à la fois pour l'amélioration des caractéristiques agronomiques, mais aussi pour la recherche fondamentale sur la fonction des gènes. La technologie de transformation est particulièrement bénéfique pour une culture comme le soja, le *Glycine max*, est un pool de matériel génétique très large à la suite de plus de 3000 ans d'élevage. Malheureusement, le soja a été l'une des plantes cultivées les plus difficiles à transformer. Les premières transformations réussies du soja utilisant l'*Agrobacterium tumefaciens* et la biolistique, par contre l'efficacité a été très faible et les méthodes étaient difficiles à reproduire. Suite à cela, diverses méthodes de transfert de gènes et des tissus cibles ont été examinées, mais l'efficacité est restée faible pour la plupart des approches. Ceux-ci comprennent des méthodes telles que l'électroporation de protoplastes et tissu nodal intact.

Ces méthodes sont prometteuses, fournissant des plantes peuvent être régénérées à partir de protoplastes et ainsi le taux d'obtention de plantes transgénique est augmentée. Les deux méthodes les plus fiables pour le soja sont la transformation par *A. tumefaciens* et la biolistique d'ADN. (MOUBRI. 2016)

#### • Amélioration de la tolérance aux stress abiotique

Le soja tolérant aux herbicides est le soja génétiquement modifié le plus cultivé au monde. Le soja étant en effet assez peu couvrant et peu compétitif par rapport aux mauvaises herbes, la principale difficulté de sa culture réside dans la maîtrise du désherbage, en particulier dans les premiers stades de son développement. Cette maîtrise des adventices passe par différentes stratégies. En agriculture biologique et dans certaines exploitations conventionnelles, le désherbage est mécanique uniquement, la culture du soja s'y prêtant assez bien. En agriculture conventionnelle, et en fonction de la flore attendue, on procède à un traitement en prélevée, en pré-semis ou post-semis et/ou à un traitement en post levée seulement avec un herbicide sélectif.

Le soja 356043 a été élaboré par Pioneer Hi-Bred Production Ltd. au moyen de la technologie de l'ADN recombinant, qui a permis d'introduire les gènes *gat4601* et *gm-hra*. Le gène *gat4601* code l'enzyme glyphosate-N-acétyl-transférase (GAT) dérivé des enzymes du

*Bacillus licheniformis*, qui métabolise l'herbicide glyphosate, conférant ainsi de la résistance à ce végétal. Le gène *gm-hrac* code une enzyme ALS modifiée qui lui confère de la résistance aux herbicides inhibant l'ALS.

Pioneer Hi-Bred Production Ltd. a fourni des données sur l'identité du soja 356043, une description détaillée de la méthode de transformation, des données sur le site d'insertion des gènes, le nombre de leurs copies et leur niveau d'expression dans le végétal ainsi que le rôle des gènes insérés et de leurs séquences de régulation. Les nouvelles protéines ont été identifiées et caractérisées. Pioneer Hi-Bred Production Ltd. a également fourni des données permettant d'évaluer la toxicité potentielle des nouvelles protéines pour le bétail et pour les organismes non ciblés ainsi que son pouvoir allergène potentiel pour les humains et pour le bétail. (MOUBRI. 2016)

### 3.2.2. Les fruits et légumes

#### 3.2.2.1. La banane génétiquement modifiées

La carence en vitamine A constitue un problème de santé majeur dans les pays les plus pauvres. Elle est due à la malnutrition qui frappe de larges pans de la population, engendrant maladies des yeux et de la peau, troubles du système immunitaire et des fonctions reproductrices et troubles de la croissance chez les enfants. Après le riz génétiquement modifié, vanté depuis des années comme le remède miracle contre les effets désastreux de la malnutrition, voici venue la banane GM enrichie en bêta-carotène, qui peut être converti en vitamine A par l'organisme. Développée par des chercheurs australiens avec le soutien de la Fondation Bill et Melinda Gates, la banane plantain a fait l'objet de premières cultures expérimentales en Ouganda, où 70% de la population dépend de cet aliment de base. Ce fruit GM va maintenant être testé pour la première fois sur l'homme, afin d'établir s'il permet effectivement d'augmenter les taux de vitamine A dans l'organisme. A cet effet, 10 kilos ont été envoyés aux Etats-Unis. En cas de résultats positifs, la culture commerciale de cette banane en Ouganda et dans les pays voisins pourrait démarrer en 2020. Les chercheurs soulignent qu'il sera possible à l'avenir de transférer les propriétés de cette « super banane » sur d'autres variétés de bananes. Le docteur Helen Wallace, de l'organisation britannique GeneWatch, se méfie du nouvel OGM. « Trop de bêta-carotène pourrait se révéler cancérigène. A quoi faut-il s'attendre si une personne qui ne présente pas de carence en vitamine A mange cette banane ? » Les tests ne fourniront pas de réponse à cette question, et jusqu'à ce que la banane puisse être cultivée à large échelle, il s'écoulera au moins encore 6

ans. Or les personnes touchées ont besoin d'aide maintenant. Les pistes existent, comme le montre un rapport de l'ONU de 2010 ; les experts et les institutions impliqués sont unanimes : pour lutter contre la carence en vitamine A, il faut combiner plusieurs mesures et les ajuster aux spécificités régionales. Cela passe par l'allaitement, la culture de légumes régionaux, l'enrichissement d'aliments comme le sucre en vitamine A et la distribution de préparations de vitamine A. La culture de plantes comme le manioc et le maïs, dont la teneur en vitamine A a pu être accrue par des méthodes traditionnelles, est elle aussi prometteuse. [20]

### 3.2.2.2. L'ananas génétiquement modifiées.

L'ananas est l'objet de nombreuses recherches d'amélioration par transgénèse. Il y en a au champ au Mexique (mûrissement retardé) et en Australie (contrôle de la floraison). Des laboratoires à Cuba ont introduit des transgènes de résistance à des lépidoptères, de tolérance au glyphosate et de résistance à des champignons. En Malaisie c'est la tolérance au blackheart (cœur noir) qui est recherchée, tandis qu'à Hawaï on a fait exprimer dans des plantes de la variété « smooth Cayenne » un gène codant une cystatine de riz, espérant que cet inhibiteur de protéases protégera les cultures des attaques des nématodes actuellement responsables d'importantes pertes (38% de la première récolte, 60% de la seconde) si on renonce effectivement aux traitements nématicides. (PERIQUET *et al*, 2007)

Le PRSV (PapayaRingSpot Virus) a fait son apparition dans le district de Puna à Hawaï en 1992 ; en 1994 la moitié des cultures de papayers de cette région était infectée. En cinq ans on notait la perte de la moitié des récoltes. Depuis 1997 la production commerciale de papayers GM et rendus insensibles à ce virus par expression d'un gène du PRSV est autorisée à Hawaï ; elle y représentait dès 2000 la moitié de la production, et le Canada en autorise l'importation des fruits. Fin 2006, la Chine a fortement recommandé la commercialisation de papayes GM résistantes à des virus<sup>3</sup>. Des modifications génétiques visant à des résistances à des virus et à la conservation et la qualité du fruit font l'objet d'évaluation au champ en Australie, au Mexique, au Brésil, à Cuba et en Chine. Dans les laboratoires de nombreux pays des recherches sont menées pour conférer par génie génétique divers caractères à des papayers : résistance à des virus (Bangladesh, Thaïlande, Malaisie, Japon, Philippines, Venezuela), retard de mûrissement et vie prolongée en rayons (Malaisie, Philippines, Chine), résistance à un champignon (Cuba). (PERIQUET *et al*, 2007)

### 3.2.2.3. Tomate génétiquement modifiées

En 1994 aux États-Unis, la FDA (Food and Drug Administration) approuva la commercialisation de la tomate FlavrSavr, qui devint ainsi le premier produit dérivé d'une culture transgénique autorisé pour la consommation humaine. Au Canada, quatre tomates GM ont été approuvées (trois pour le mûrissement retardé et une pour la résistance aux insectes), mais aucune d'entre elles n'a jamais été mise sur le marché, ni au Canada, ni ailleurs dans le monde.

La tomate à mûrissement retardé FlavrSavr, mise au point par la société Calgene, a été commercialisée à l'essai pendant quelques semaines sous la marque MacGregor dans une épicerie de Toronto, mais les autres n'ont apparemment jamais atteint le Canada. À l'été 1995, Calgene était au bord de la faillite et Monsanto l'a ainsi racheté en 1996.

La société DNA Plant Technology a génétiquement conçu la tristement célèbre tomate-poisson GM par l'ajout de gènes protéiques antigel de la pie. Mais elle est restée une simple expérience; la société n'a jamais requis l'approbation des appareils réglementaires et ne l'a commercialisée nulle part. [21]

### 3.2.2.4. Pomme de terre résistance au doryphore (coléoptère)

Au Maroc, la pomme de terre (potato) (*Solanum tuberosum*) est la première culture maraîchère des points de vue superficie et production (25% des cultures maraîchères). La production atteint annuellement 1,4 million de tonnes. Les insectes ravageurs causent des dégâts pour la culture de la pomme de terre. C'est le cas de la noctuelle terricole *Hydraeciamicacea* (ou ver gris, noctuelle mineuse de la pomme de terre), appelée aussi en Amérique du Nord 'Perce-tige de la pomme de terre', est un insecte de l'ordre des lépidoptères: Sur feuilles, les jeunes chenilles dévorent le parenchyme des feuilles. Il ne reste que l'épiderme desséché. Quand l'attaque est avancée, la culture semble grillée. Sur tubercule: les attaques de chenilles laissent des galeries qui évoluent en pourriture. Le Traitement au début de l'infestation avec des insecticides de contact à base de méthamidophos, méthomyl, chloryriphos et de parathion.

Le doryphore est le plus important ravageur de la pomme de terre au Canada et dans plusieurs régions aux États-Unis. Il se nourrit de plantes de la famille des Solanaceae. Parmi cette famille, on retrouve la pomme de terre, la tomate et l'aubergine qui sont sensibles à ses attaques.

Menace: En Afrique, le doryphore a été signalé en Libye, mais le Maroc en est indemne. Le doryphore : un grand conquérant fatigué ?, OPIE), toutefois sa présence en Libye n'était pas confirmée en 2006. Son potentiel d'expansion est très important : il pourrait s'étendre dans toutes les régions tempérées du globe où la pomme de terre est cultivée et où il est encore absent, notamment en Asie orientale, dans le sous-continent indien, en Afrique du Nord et en Afrique australe, en Amérique latine, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Le réchauffement climatique pourrait favoriser son extension vers le nord.

De nombreux insecticides sont utilisés pour tenter d'éliminer le doryphore, mais ils sont peu efficaces contre les pucerons se déplaçant rapidement d'un endroit à un autre, véhiculant le PLRV.

Depuis quelques années, des variétés de pomme de terre modifiées génétiquement pour être résistantes au doryphore sont disponibles. Un gène de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (BT) a été introduit dans les plants de pomme de terre.[22]

#### **4. Animaux génétiquement modifiés**

La première nourriture animale transgénique développée au Canada a été du saumon de l'atlantique croissant à un rythme de 2 à 6 fois plus rapide que le saumon sauvage conventionnel. Ces poissons ont été développés à l'Université Memorial, par l'introduction d'un transgène constitué du promoteur du gène de la protéine antigénel de la loquette d'Amérique lié à un gène des hormones de croissance du saumon Chinook (ou royal). Ils ont été soumis à de nombreux tests de sécurité et de sécurité pour l'environnement, et, en septembre 2010, une présentation documentant leur innocuité alimentaire pour les humains a été déposée devant la Food and Drug Administration aux États-Unis.

En 2000, des PORCS transgéniques dont la marque de commerce est Enviropig qui ont une empreinte environnementale moindre, ont été produits à l'Université de Guelph. Ces porcs ont été développés par l'introduction d'un transgène composé du promoteur de protéines dans les glandes parotides de la souris lié au gène de la phytase de la bactérie *Escherichia coli*. Ces porcs sécrètent l'enzyme phytase dans leur salive, ce qui leur permet de digérer le phytate, un composé présent dans les grains céréaliers qui compte pour 50 à 80 p. cent du phosphore total et est normalement indigeste pour les animaux monogastriques, dont les porcs. Cette capacité à digérer le phytate réduit le phosphore de 35 à 65 p. cent dans le fumier de porc, dépendamment de l'âge et de la composition de la diète. Cela est important, puisque chez les

porcs conventionnels, le phosphore sous forme de phytate passe à travers le système digestif et est enrichi dans le fumier. Le fumier est ensuite utilisé comme ENGRAIS et étendu sur les terres agricoles, mais lorsqu'il est appliqué pour répondre aux besoins des plantes en azote, le phosphore est présent en quantité excessive. Par conséquent, lorsqu'il pleut ou que la neige fond au printemps, l'eau de ruissellement est enrichie de phosphore. L'excès de phosphore dans les étangs et les lacs génère une croissance excessive d'ALGUES qui réduit éventuellement la qualité de l'eau et entraîne la mort du poisson. [12]

**Tableau 4:** Animaux transgéniques et produits dérivés destinés à la consommation humaine en cours de mise au point. (Corrine ,2013)

Animal transgénique	Protéine codée par le nouveau gène	Origine du gène	Avantage
Animaux destinés à la consommation humaine			
Grand porc blanc	Phytase	<i>Escherichia coli</i>	<p>Permet l'utilisation du phosphore contenu dans l'acide phytique.</p> <p>Réduit le besoin d'ajouter des suppléments phosphorés à l'alimentation des porcs.</p> <p>Réduit le taux de phosphore dans le fumier et dans l'environnement.</p>
Porc	Hormone de croissance	Porcine	Améliore le taux de croissance
Porc	oméga-3 désaturase humanisée	<i>Caenorhabditiselegans</i>	Améliore la valeur nutritive en augmentant la teneur en acides gras oméga-3.
Saumon atlantique	Hormone de croissance	Saumon quinnat	Améliore le taux de croissance.

## Chapitre II : Aliments Génétiquement Modifiés

Animal transgénique	Protéine codée par le nouveau gène	Origine du gène	Avantage
Animaux destinés à la consommation humaine			
Poulet	Protéine Mx recombinante	Souris	Améliore la résistance des poulets aux infections virales
Vache	oméga-3 désaturasemammalisée	<i>Caenorhabditiselegans</i>	Améliore la valeur nutritive en augmentant la teneur en acides gras oméga-3.
Chèvre	Lysozyme	Humaine	Améliore les propriétés antimicrobiennes du lait.
Vache	Lysozyme recombinant	Humaine	Améliore les propriétés antimicrobiennes du lait.
Vache	$\beta$ -caséine, $\kappa$ -caséine	Bovine	Améliore la valeur nutritive et les caractéristiques utiles pour la transformation.

### **4.1. La consommation des animaux transgéniques**

Une première forme de dissémination concerne la consommation des animaux transgéniques ou présumés tels. En effet, si la Souris n'est pas concernée par ce problème, il n'en est pas de même des lapins, des moutons, des porcs, des chèvres, des vaches, des truites, des saumons, des poissons-chats, etc.

En France, la Commission de génie biomoléculaire, contrairement à ce qui s'est fait dans d'autres pays, a sagement considéré que des animaux ayant reçu un gène étranger à l'état d'embryon mais ne l'ayant pas gardé pouvaient être consommés par l'homme. Ces animaux présumés transgéniques doivent toutefois être vendus morts et il est interdit de les laisser se reproduire pour éviter que ne soit diffusé, à l'insu de l'expérimentateur, un transgène qui n'aurait pas été décelé lors de l'expérience

La consommation des animaux transgéniques par l'homme, si elle n'est que très marginalement d'actualité va très probablement devenir une réalité d'ici dix ans. Ils auront en effet dans certains cas été préparés dans ce but. Divers tests de toxicologie définis au cas par cas devront avoir été faits pour que les animaux puissent être livrés à la consommation humaine. (Houdebine, 1987)

### **4.2. Les règles de dissémination des animaux transgéniques**

Les règles de confinement pour les animaux transgéniques définies plus haut sont relativement simples. Les confinements à appliquer sont pour l'essentiel ceux définis pour les animaux porteurs d'agents pathogènes. La nouveauté réside donc plus dans le choix des mesures à appliquer dans une situation donnée que dans l'invention de nouveaux dispositifs ou de nouvelles pratiques de confinement.

Il n'en est pas de même pour la dissémination volontaire des animaux transgéniques. Les lois qui président à la vie d'une espèce sauvage sont en effet particulièrement complexes et souvent mal connues. Une grande prudence et un apprentissage sont donc nécessaires. Les problèmes sont en réalité très différents selon les cas. Les truites d'élevage sont pour la plupart capables de vivre dans des eaux de rivière mais ne peuvent s'y reproduire. La dissémination des truites transgéniques d'élevage n'est donc en principe pas particulièrement risquée. Il n'en est évidemment pas du tout de même des saumons qui peuvent coloniser des espaces marins immenses.

Une expérience intéressante est en cours de réalisation aux Etats-Unis. Un laboratoire a en effet obtenu des carpes transgéniques qui portent un gène d'hormone de croissance étranger. Ces animaux semblent avoir une croissance légèrement accélérée. Ce n'est que très progressivement qu'on a autorisé l'élevage dans des bassins de plus en plus grands, puis dans un étang dont l'abond est strictement contrôlé. Ces étapes successives sont destinées à permettre d'évaluer le comportement de ces animaux dans des conditions d'élevage naturelles, en présence de leurs congénères non transgéniques. Il sera possible dans quelques années de mesurer si le transgène confère aux animaux un avantage sélectif significatif qui pourrait faire redouter de les voir éliminer leurs congénères sauvages. (Houdebine, 1987)

### **5. Les microorganismes d'intérêt alimentaire**

De nombreux microorganismes interviennent dans l'élaboration de produits alimentaires. Ce sont en quelque sorte des «microbes gentils»: levure de boulangerie (pour faire le pain), levures de brasserie (pour faire la bière), levures et bactéries oenologiques (pour faire le vin), champignons et bactéries lactiques (pour faire les yaourts, les fromages).

Depuis les années 1990, de nouveaux projets ont commencé à émerger. Ils consistent à modifier génétiquement ces microorganismes d'intérêt alimentaire pour améliorer les capacités fermentaires des uns, les capacités adaptatives des autres, et pour les utiliser en tant que tels dans les processus alimentaires.

De tels OGM sont déjà commercialisés sur le continent américain. C'est le cas en particulier d'une levure oenologique transgénique (appelée ML018), produite par le groupe français Lesaffre et distribuée par la compagnie américaine Springer OEnologie) qui permet de réaliser non seulement la fermentation alcoolique, mais également la fermentation malolactique (normalement effectuée par des bactéries).

En revanche, de tels microorganismes ne sont pas autorisés aujourd'hui en France, voire en Europe, mais beaucoup de ces projets font déjà l'objet de brevets et il y a un lobbying très fort au niveau européen pour qu'ils soient autorisés dans l'agroalimentaire. Dans la plupart des cas, il ne s'agit pas d'organismes transgéniques, c'est-à-dire que la modification génétique dont ils font l'objet ne fait pas appel à des transgènes, et ils peuvent donc là encore échapper

à la législation européenne qui encadre la commercialisation des OGM. Et pour bien «enfoncer le clou» et bien faire croire que ce ne sont pas des OGM, il leur a été donné un

nouveau nom. Ils ont été appelés «SAGE»: sans ajout de gènes extérieurs. (Vélot , Séralini, 2011)

### **6. L'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés**

Trois générations distinctes caractérisent l'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés. La première génération comprend les cultures génétiquement modifiées pour des raisons agronomiques, c'est-à-dire que certaines espèces de plantes sont manipulées pour résister à des insectes ravageurs, à différents virus ou pour leur conférer une tolérance aux herbicides. Cette première génération est déjà bien établie et cultivée de façon intensive en champs depuis le milieu des années 1990. Ces plantes, génétiquement modifiées dans le but d'offrir aux agriculteurs des formes alternatives au contrôle des mauvaises herbes et des insectes, offrent donc un avantage direct pour les producteurs, les consommateurs ne tirant pas d'avantages particuliers de ces produits . (Huot., 2002)

Les cultures et les aliments issus de la seconde génération de modifications pourraient, quant à eux, offrir des avantages directs aux consommateurs et à l'environnement. Des recherches sont présentement en cours dans le but de développer des variétés de cultures résistantes à divers stress environnementaux, notamment le froid, la sécheresse, les sols contaminés, les sols acides ou très salins, par exemple. D'autres recherches visent aussi à améliorer l'apparence (texture, couleur) ainsi que le temps de conservation de certains aliments. Ensuite, la science tente aussi de développer des variétés de plantes qui offriront, par l'utilisation de procédés biotechnologiques, de meilleurs rendements. Finalement, certains produits issus de la seconde vague de développements biotechnologiques appliqués à l'agriculture, promettent, quant à eux, d'avoir des avantages directs pour la santé des consommateurs. En effet, les plantes offrent des vitamines et des minéraux, mais elles synthétisent aussi des milliers de métabolites secondaires qui peuvent jouer un rôle bénéfique pour la santé humaine. Les recherches effectuées dans ce domaine tentent actuellement de mieux comprendre la façon dont certains aliments produisent ces composés bénéfiques. Ensuite, l'objectif des manipulations génétiques est d'arriver à modifier certaines caractéristiques nutritionnelles de certaines cultures afin que celles-ci puissent produire davantage de ces composés et /ou, qu'elles puissent synthétiser un composé qu'elles ne produiraient pas sans recours aux manipulations génétiques, c'est-à-dire de façon naturelle. Finalement, la littérature scientifique parle d'une troisième génération de modifications génétiques, définie comme étant la production de biomolécules utiles sur le plan industriel, médical ou scientifique, par

l'intermédiaire de végétaux. L'agriculture moléculaire végétale fait partie de cette génération. Les cultures utilisées pour produire ces biomolécules n'entreront cependant pas dans la production d'aliments destinés à la consommation humaine. (Huot., 2002)

### 7. Le consommateur

Le consommateur est prudent et méfiant, bien que le degré de méfiance soit lié au niveau de connaissance qu'il a sur les produits et/ou sur les technologies qui les a fait naître ; la néophobie reste un paramètre significatif. Tant que les produits ne sont pas identifiés, les consommateurs adoptent une attitude de prudence, de suspicion, voire d'aversion. Il suffit d'observer la méfiance qui sévit jusqu'à aujourd'hui à l'égard des procédés classiques de la conserve et de la surgélation pour s'apercevoir de l'importance de la néophobie dans le domaine de l'agroalimentaire. Par ailleurs, les consommateurs ne connaissent du système complexe de production et de distribution alimentaire que les éléments terminaux, à savoir les lieux de distribution et les produits finaux.

La méconnaissance de la provenance des produits et des systèmes qui les produisent et commercialisent est à l'origine de l'anxiété adoptée par les consommateurs des pays industrialisés, notamment. La méfiance concerne à la fois les produits, les procédés de fabrication et les lieux d'achat.

L'homme est poussé naturellement vers la variété et cherche constamment la diversification, l'innovation, l'exploration, le changement... qui lui sont vitaux. Dans le même temps, il est contraint par un certain « conservatisme alimentaire » dans lequel tout aliment nouveau est susceptible de renfermer un danger potentiel.

Concernant les biotechnologies, les connaissances actuelles sont très limitées et les opinions sont partagées entre optimistes et pessimistes. En 2001, environ 52 % des personnes interrogées dans l'UE estiment que les aliments contenant des OGM sont dangereux pour la santé et seulement 35 % en sont complètement confiants. Toutefois, les consommateurs distinguent entre les OGM utilisés en médecine, dans l'industrie, dans la recherche scientifique et en alimentation. En Europe, environ 28 % de la population jugent que si les OGM favorisent la compétitivité économique de l'Europe, il serait rationnel de prendre un certain risque ; mais 56 % d'entre eux sont d'un avis opposés car ils ne sont pas encore prêts à appréhender ce type d'alimentation<sup>2</sup>. Ces chiffres témoignent de l'impact négatif qu'ont eu certaines affaires sur la vie économique des consommateurs, les OGM sont un échec cuisant

auprès de l'opinion publique. Ce constat est en grande partie imputé aux industriels de l'agroalimentaire qui visent exclusivement à être compétitifs sur le marché.

Sur le plan géoéconomique, la situation se présente différemment entre régions du monde ; la consommation des OGM en Amérique s'effectue sans incidents notables car l'attachement à la nourriture dans cette région n'est pas très fort. Les opérateurs européens se sont alors mis à importer des céréales de l'Amérique du Nord, croyant pouvoir opérer de la même manière en Europe. Les cargaisons de mélanges de céréales GM/non-GM achetées fin 1996, pour être discrètement distribuées, ont rencontré une attitude hostile de la part des consommateurs. La différence des réactions à l'égard des OGM est liée au comportement alimentaire de chacun :

- En Autriche, les consommateurs maintiennent une opposition ferme à l'entrée des semences ou produits transgéniques dans leur territoire.
- La France et l'UE en général opposent un refus massif à l'importation des OGM. La culture des plantes transgéniques intéresse seulement la recherche, d'où l'inexistence de cultures à grandes échelles. Cependant, il existe des pays dans l'UE qui tolèrent la culture des OGM comme l'Espagne et l'Italie.
- La Suisse est un pays qui accorde une grande transparence aux OGM ; la population s'est engagée dans un long processus démocratique sur l'avenir des biotechnologies en général : Débats au parlement, controverses télévisées, discussions publiques organisées par les universités, etc. Ainsi, regroupés en 70 associations, les consommateurs affichent cependant leur inquiétude et leur refus de se nourrir en produits à base d'OGM.
- Le Japon se lance corps et âme dans le développement des OGM. Selon une étude effectuée en 1995, 93% des Japonais voient dans les OGM une source de progrès alimentaire dans l'avenir proche. En outre, 87% des consommateurs sont en faveur d'une utilisation des biotechnologies dans l'amélioration des plantes.
- Les Etats-Unis, nonobstant l'impression qu'ils affichent, est le pays où les opinions sont les plus nuancées et ce pour plusieurs raisons :
  - Les américains paraissent simplement positifs aux biotechnologies.
  - L'Amérique laisse son agriculture séparée du monde citadin, ce qui diminue des effets des OGM sur l'environnement.

- Les américains possèdent une plus grande motivation économique que n'importe quel autre pays.

- Les américains ont déjà clos le débat sur les OGM, en les ayant intégré dans le modèle de consommation au début des années 90. (GOUDJIL, 2007)

### **8. L'encadrement des aliments génétiquement modifiés**

#### **8.1. Réglementation européenne actuelle**

S'agissant de la dissémination d'un OGM sur le territoire français ou européen, que ce soit en recherche ou à des fins de production pour la consommation humaine ou animale, l'autorisation est accordée sur le fondement d'un dossier technique permettant d'évaluer les risques pour la santé publique et pour l'environnement, liés à la dissémination de cet OGM. Cette autorisation est régie par la directive 90/220/CEE, abrogée le 17 octobre 2002 et remplacée par la directive 2001/18/CE.

Lorsqu'il s'agit d'aliments ou d'ingrédients alimentaires composés d'OGM ou issus d'un OGM (exemple : lécithine de soja), la mise sur le marché de ces produits (cultivés sur le territoire européen ou importés dans la Communauté), y compris leur utilisation en vue de leur transformation industrielle pour la consommation humaine, relève du règlement CE/258/97. Ce règlement fixe les modalités relatives à l'autorisation des nouveaux aliments et des nouveaux ingrédients alimentaires pour lesquels la consommation humaine a été négligeable dans la Communauté avant le 15 mai 1997. Pour garantir le plus haut niveau de protection de la santé humaine, les nouveaux aliments doivent faire l'objet d'une évaluation d'innocuité avant d'être mis sur le marché de l'Union européenne. Seuls les produits considérés comme étant sans danger pour la santé humaine et propres à la consommation peuvent être mis sur le marché. La mise sur le marché d'OGM destinés à la consommation animale reste couverte par la directive 90/220/CEE. Toutefois, un projet de nouveau règlement couvrant la mise sur le marché de l'ensemble des OGM ou produits issus d'OGM destinés à la consommation humaine ou animale est en cours de négociation. (Binet et al, 2002)

#### **8.2. Étiquetage**

Lorsqu'elles ont dû fixer les politiques d'étiquetage des aliments génétiquement modifiés pour faire en sorte que les consommateurs reçoivent une information utile, les autorités de

réglementation se sont trouvées aux prises avec toute une série de questions liées aux OGM, à commencer par les questions scientifiques, sanitaires, environnementales, politiques, culturelles et économiques ainsi soulevées et les règles appropriées de conformité et de mise en application.

Les autorités nationales ont élaboré plusieurs méthodes d'étiquetage des aliments contenant des OGM ou issus de ces derniers. Dans certains des pays où l'étiquetage des AGM est obligatoire, les aliments traditionnels peuvent contenir des traces de matériel génétiquement modifié dans des limites fixées, par exemple s'agissant du soja provenant de sources contenant du soja génétiquement modifié sans qu'il y ait étiquetage. Les aliments spécifiquement déclarés comme exempts de modifications génétiques ont principalement besoin de preuves analytiques précises du fait qu'aucun matériel génétiquement modifié ni procédé de modification génétique n'est intervenu dans leur préparation.

Il existe sur le plan réglementaire deux grandes modalités pour étiqueter les aliments génétiquement modifiés:( **RAHDOUN, BOUKRAA, 2019**)

### **8.2.1. Étiquetage volontaire / étiquetage obligatoire**

L'étiquetage peut être volontaire, obligatoire, ou obligatoire avec un seuil de tolérance. Il n'y a ni uniformité, ni consensus, quant à la gamme des produits assujettis par la réglementation au seuil de tolérance admis, lequel peut varier de 0 % à 5 %. Ces variations réglementaires posent un défi d'harmonisation entre les juridictions à la fois pour l'industrie, pour les gouvernements et pour les organismes de commerce internationaux. En effet, les systèmes mis au point possèdent des seuils de tolérance différents, n'ont pas la même portée et sont mis en application à divers degrés et de façon irrégulière, ce qui aurait un impact indéniable sur le commerce international.

Des controverses existent sur les conséquences de l'introduction d'une norme du Codex Alimentarius, rendant obligatoire l'étiquetage des produits OGM. En 2005, 42 pays ont adopté une loi rendant obligatoire l'étiquetage des OGM. Le choix d'une politique d'étiquetage obligatoire nécessite de déterminer :

- 1) les produits concernés,
- 2) le choix de l'étiquetage positif ou négatif,
- 3) le système de traçabilité et éventuellement de ségrégation,

- 4) les tests et les contrôles (produits intérieurs et produits importés)
- 5) le seuil de tolérance.

La question que soulève l'étiquetage obligatoire est de savoir distinguer les mesures utiles à la protection du consommateur, de celles qui, derrière le même objectif affiché, pourraient avoir des visées protectionnistes. Cette question est renforcée notamment par la plainte à l'OMC déposée le 13 mai 2003, par les États-Unis (appuyés notamment par le Canada et l'Argentine), contre le moratoire européen sur les OGM.

### **8.2.2. Étiquetage « avec OGM » (ou étiquetage positif) et étiquetage « sans OGM »(ou étiquetage négatif)**

Caswell (1998) note l'existence de deux types d'étiquetage : l'étiquetage des produits « avec OGM » ou étiquetage positif et l'étiquetage des produits « sans OGM », ou étiquetage négatif<sup>46</sup>. (CLOUTIER, 2006)

- **Étiquetage positif**

La plupart des pays ayant mis en oeuvre une politique d'étiquetage obligatoire ont favorisé l'étiquetage positif. L'étiquetage positif signale la présence d'ingrédients produits à partir d'OGM. Chaitoo et Hart (2000) notent que certains observateurs signalent que l'étiquetage à contenu positif peut être tout aussi trompeur que l'absence totale d'étiquetage. En théorie, une étiquette « avec OGM » pourrait laisser entendre qu'il y a un risque et ainsi amener les consommateurs à réfléchir aux conséquences, sur la santé, de la consommation des produits GM. Toutefois, étant donné la variété des produits alimentaires dans la consommation, pour des raisons pratiques, selon ces auteurs, il serait préférable d'étiqueter les produits contenant des OGM, même si ces derniers sont difficiles à déceler. (CLOUTIER, 2006)

- **Étiquetage négatif**

L'étiquetage négatif vise à indiquer qu'un aliment ou un produit alimentaire nouveau n'est pas issu du génie génétique.

La classification d'un produit comme étant « sans OGM » soulève la question de savoir si le standard adopté impose des exigences uniquement sur le produit final (obligations de résultats) ou également sur le processus de production (obligations de résultats et de moyens).

Du côté de l'offre, imposer des exigences sur le processus de production impose plus de contraintes.

Selon la FAO, l'étiquetage négatif procurerait aux consommateurs la possibilité d'éviter les aliments génétiquement modifiés et aurait pour effet d'encourager le développement de marchés spécialisés. Néanmoins, l'étiquetage négatif pourrait induire le consommateur en erreur en le poussant à conclure que les aliments issus de la biogénétique sont « inférieurs » aux aliments « conventionnels ». (CLOUTIER, 2006)

### 8.2.3. L'étiquetage extensif et étiquetage restrictif

L'étiquetage « extensif » concerne les processus de production des produits traités à partir d'OGM (définition basée sur le processus de production). L'étiquetage « restrictif » s'intéresse au produit lui-même (définition basée sur le produit).

Actuellement, le Comité du Codex Alimentarius sur l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées est le lieu d'un débat entre les nations membres, celles qui croient que l'étiquetage obligatoire devrait uniquement s'appliquer aux produits, et celles qui soutiennent l'idée qu'il devrait s'appliquer également aux différences de procédés. (CLOUTIER, 2006)

### 8.3. La traçabilité

Les règlements définissent la traçabilité comme “la capacité de retracer le cheminement d'OGM et de produits dérivés d'OGM, à tous les stades de leur mise sur le marché, le long de la chaîne de production et de distribution” grâce à l'utilisation de codes ou identificateurs uniques attribués aux OGM. Cette traçabilité a été conçue pour augmenter la confiance des consommateurs : l'innocuité des produits OGM sera évaluée par l'Autorité européenne de sécurité alimentaire avant qu'ils ne soient autorisés à la mise sur le marché. Elle devrait aussi permettre de faciliter la surveillance des effets sur l'environnement et l'exactitude des allégations figurant sur les étiquettes. Les opérateurs devront “normaliser” leurs systèmes et procédures de conservation d'informations à chaque étape de la mise sur le marché. La Commission devra créer un registre central dans lequel figureront toutes les informations séquentielles disponibles et les matériaux de référence relatifs aux OGM autorisés dans la Communauté. La transmission de ces informations, qui devront être conservées pendant 5 ans, devra se faire tout au long de la chaîne commerciale. (BRASSART, 2003)

**Chapitre III :**  
**Aliments Génétiquement**  
**Modifiés Et La Sécurité**  
**Alimentaire**

### 1. La sécurité alimentaire

La définition officielle de la sécurité alimentaire, adoptée lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996 (FAO 1996), est la suivante:

« La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active. »

Une autre définition est inspirée de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) de 1992, dans lequel il est indiqué: « La sécurité alimentaire... a pour principal objectif d'accroître sensiblement et durablement la production agricole et d'améliorer sensiblement l'accès à des denrées alimentaires suffisantes et adéquates du point de vue culturel pour l'ensemble de la population». (OMS , 2005)

### 2. Parvenir à la sécurité alimentaire

La sécurité alimentaire dépend de quatre facteurs clés (FAO ,1995)

- **La disponibilité** des produits alimentaires (la nourriture doit être disponible en quantité suffisante pour fournir les éléments nutritifs et les calories nécessaires à une personne moyenne)
- **L'accès** à une nourriture suffisante (même dans un pays qui possède suffisamment de produits alimentaires par habitant ; la sécurité alimentaire n'existe pas pour ceux qui n'ont pas les moyens de les acheter en quantité suffisante ou qui n'ont pas la possibilité de cultiver leurs propres produits).
- **La stabilité** des approvisionnements (quant ceux –ci sont irréguliers du fait, par exemple, de la sécheresse, des inondations, des hausses des prix brutales ou du chômage saisonnier, les pauvres sont les plus vulnérables).
- **L'acceptabilité** culturelle (il arrive que la consommation de certains aliments ,certaines association d'aliments ou certaines méthodes de préparation soient interdits par des tabous religieux ou culturels).( **Hubert,2003**)

### **3. Les principes de santé publique en matière de trière de réglementation aliments GM**

Ces principes ont d'abord été élaborés par un groupe multisectoriel national d'intervenants et un comité consultatif externe en vue de l'examen des politiques sur l'adjonction de vitamines et de minéraux aux aliments par Santé Canada. Les auteurs du rapport du Conseil de santé de Toronto sur les aliments GM les ont adaptés aux besoins de leur analyse. Le Groupe de travail sur la biotechnologie alimentaire de l'ASPO les a ajustés à son tour au contexte particulier des aliments GM.

Ces principes, croyons-nous, devraient être les assises sur lesquelles s'élaborent les politiques de réglementation des aliments GM au Canada :

**Principe 1 :** Les politiques doivent assurer que seuls sont approuvés les aliments GM qui maintiennent et améliorent la qualité nutritionnelle de l'approvisionnement alimentaire, conformément aux objectifs et aux priorités relatifs à la santé publique.

**Principe 2 :** Les politiques doivent assurer que les aliments GM n'entraînent pas de risques pour la santé.

**Principe 3 :** Les politiques doivent assurer que les décisions d'approbation des aliments GM sont fondées sur des preuves rigoureuses revues par les pairs obtenues de façon continue de sources multidisciplinaires (incluant les sciences de la vie et de l'environnement, la toxicologie, l'agriculture, l'éthique, le droit de la santé, etc.)

**Principe 4 :** Le « principe de précaution » doit être appliqué dans la réglementation des aliments GM.

**Principe 5 :** Les politiques doivent aider à prévenir les pratiques susceptibles d'induire le consommateur en erreur, de le tromper ou de le dérouter ainsi qu'à favoriser les pratiques qui ont pour effet de faciliter le choix du consommateur.

**Principe 6 :** Les politiques doivent tenir compte des données démographiques variées et changeantes, des habitudes alimentaires et des préoccupations de la population canadienne. (L'Association pour la santé publique de l'Ontario., 2001)

### **4. Les risques des AGM**

#### **4.1. Les risques à la santé**

Un certain nombre d'inquiétudes concernant la sécurité des OGM du point de vue de la santé humaine ont été soulevées jusqu'à ce jour. Force est de constater que depuis plus d'une

décennie maintenant, des millions de personnes ont consommés des aliments dérivant de cultures génétiquement modifiées (principalement du soja, du maïs et du colza) sans que l'on ait constaté d'effets contraires.

Quelques points d'interrogation subsistent néanmoins.

### **4.1.1. Les effets toxiques**

Des doutes subsistent à propos des plantes génétiquement modifiées produisant des pesticides. La persistance de produits dérivés des pesticides, dans la mesure où ces plantes y sont résistantes est considérée comme un premier risque potentiel. Au sujet des produits génétiquement modifiés eux-mêmes, il faut savoir que l'évaluation de la toxicité est d'un niveau de sécurité égal, voire supérieur, à celle des aliments courants. Des doutes peuvent néanmoins subsister pour ce qui est des effets potentiels de ces produits sur les systèmes vitaux, c'est-à-dire les systèmes immunitaires, hormonaux et reproducteurs. Les tests de toxicité classiques sont des tests de toxicité aiguë et ne permettent pas d'effectuer de prédictions sur le long terme relatives à la toxicité chronique potentielle des OGM. Les tests sur longue période en laboratoire ne sont en effet pas fiables à l'heure actuelle puisqu'ils ne permettent pas de distinguer les variations biologiques « normales » des effets éventuels de la consommation d'OGM. (LANAYRIE, 2008)

L'ajout d'un nouveau gène dans un organisme vivant (sur la molécule d'ADN) peut provoquer l'expression d'un ou de plusieurs gènes inactifs à l'état normal. Ce phénomène est appelé effet pléiotropique. Cette expression induite par le transgène peut entraîner la production de toxines, ou augmenter la production de toxines produites à l'état de traces naturellement. Or, nous savons que certaines toxines existent à l'état naturel et sont produites en quantité non toxique; c'est le cas de la solanine de la pomme de terre, de la tomatine de la tomate ou de l'acide érucique du colza. Ce risque, même minime, peut survenir et nul n'est capable d'en connaître les effets.

### **4.1.2. Le risque d'allergénicité.**

Dès qu'une protéine est ingérée, elle est susceptible d'être allergène et il est difficile de mesurer et de prévoir la capacité allergène d'une molécule. Des études ont été réalisées dans le but d'examiner la résistance des protéines dans le milieu gastrique.

Il ressort dans certaines études que la protéine est dégradée en quelques secondes; 15 secondes pour la protéine introduite dans le soja transgénique Round up Ready . Par contre,

des précautions sont à prendre au niveau du transgène pour limiter le risque d'allergénicité. Si le transgène code pour un allergène connu, il est probable que la plante transgénique va exprimer la protéine exogène avec son potentiel allergénique.

L'aboratoires qui étudie ces risques d'allergies évite d'utiliser des gènes provenant d'organismes connus pour leur allergénicité. Schubbert et ses collaborateurs (1997) ont fait le suivi de molécules d'ADN absorbées par des souris.

Houdebine (2000) rapporte qu'il est apparu que, si l'ADN du virus étant comme attendu largement dégradé, une petite partie de cet ADN était transférée dans le sang des animaux. Un examen plus détaillé a révélé que l'ADN était retrouvé dans le sang à l'état libre, mais aussi dans certaines cellules sanguines, les globules blancs essentiellement, et dans le foie, entre autres organes. Les fragments d'ADN retrouvés étaient relativement de petite taille et seulement quelques-uns étaient d'une longueur qui correspond à peu près aux plus petits gènes connus. Ces fragments d'ADN ont pu être retrouvés jusque dans le noyau des cellules. Toutefois, ils avaient tous disparu quelques jours plus tard et aucun de ces fragments n'a été retrouvé intégré dans le génome des souris. Houdebine considère que ces travaux sont plutôt rassurants puisqu'ils tendent à démontrer l'efficacité du processus de digestion qui fait que nous ne devenons en rien ce que nous mangeons (Document technique : Aspect scientifique). Il explique que l'expérimentateur a dû, pour faire la distinction entre l'ADN absorbé et l'ADN de souris, purifier l'ADN dont les sujets ont été gavés. L'ADN dans les aliments est normalement enrobé de protéines qui le protègent et qui orchestrent la réplication, lors de la division cellulaire. Houdebine décrit le processus d'apoptose qui fait le clivage en fragments de petite taille, ne contenant plus de gènes entiers, dès que la cellule subit un stress. Après quoi, l'ensemble des gènes de la cellule est définitivement inactivé. Il aurait, selon lui, été intéressant d'examiner le devenir de l'ADN absorbé dans les conditions réelles de la digestion, pour voir s'il a subi un processus similaire à celui de l'apoptose. (**Fortin et al,2001**)

### **4.1.3. La résistance aux antibiotiques**

L'insertion d'un gène dans une cellule hôte nécessite le marquage du gène transféré par un gène de résistance à un antibiotique, et cela, parce que le gène introduit ne se retrouve pas ou ne s'exprime pas dans le génome de toutes les cellules hôtes. Les spécialistes font donc l'ajout de gènes qui confèrent la résistance à un antibiotique afin de permettre la sélection des

cellules modifiées. Ces gènes de résistance se présentent sous une forme fractionnée et auraient peut-être pour risque d'être transférés à un organisme de la flore intestinale. De plus, certaines bactéries, par transformation, seraient capables d'intégrer le génome d'un autre organisme.

Courvalin<sup>6</sup>, directeur de l'unité des agents bactériens à l'Institut Pasteur et responsable du Centre national de référence des antibiotiques du Ministère de la santé française, s'inquiète du transfert de gènes de résistance aux antibiotiques. À son avis, il aurait été de bon sens d'appliquer le principe de précaution à des constructions génétiques faisant appel aux gènes marqueurs de résistance aux antibiotiques puisque ce procédé est peut-être inadéquat pour être utilisé sur le terrain. Il considère que la propagation à de très nombreuses copies de ces gènes favorisera leur dissémination et leur évolution par mutation ponctuelle vers des résistances encore plus grandes. Il remet sérieusement en question le choix des gènes utilisés en précisant qu'il n'y a pas de gènes anodins de résistance aux antibiotiques. Le gène « bla », qui confère la résistance aux pénicillines, est utilisé notamment dans les maïs MS3 et 176 reconnus au Canada. Ces gènes ne s'expriment pas chez la plante, mais sont sous le contrôle de signaux d'expression qui seront d'emblée opérationnels chez les bactéries. S'il y avait rétro transfert dans la bactérie, le plus petit événement génétique, le changement d'une seule paire de base pourrait, selon Courvalin, abolir 15 ans de recherche de toute l'industrie pharmaceutique. Il rappelle que depuis 20 ans, aucune nouvelle famille d'antibiotiques n'a été introduite en thérapeutique. Selon lui, un enzyme pourrait, non seulement inactiver toutes les pénicillines, mais toutes les céphalosporines, c'est-à-dire les molécules les plus récentes. Une mutation ponctuelle consécutive de l'utilisation du gène qui confère la résistance à la kanamycine ou à la néomycine, peut engendrer la résistance à l'amikacine, antibiotique largement utilisé dans les unités de soins intensifs pour le traitement des infections acquises à l'hôpital. Le gène de résistance à la kanamycine était notamment utilisé dans la tomate « FlavrSavr » avant son retrait volontaire du marché par Calgène.

La Royal Society de Londres<sup>7</sup> est d'avis qu'il est peu probable que le risque soit plus grand que le déploiement actuel de l'utilisation des antibiotiques chez les humains et leur ajout à la nourriture animale. Toutefois, elle indique que d'autres recherches sont nécessaires et recommande l'utilisation d'alternatives.

Le Groupe d'experts Canadien sur l'avenir de la biotechnologie alimentaire<sup>8</sup> est d'avis que les marqueurs de résistance aux antibiotiques ne devraient être utilisés dans aucun AGM destiné à la vente au Canada. [23]

### 4.1.4. Autres effets

- Certains professionnels de la santé craignent que ce type d'aliment puisse déresponsabiliser les gens qui sont à risque pour certaines maladies ou qui souffrent d'une maladie chronique à l'égard de la qualité de leur alimentation et de leurs habitudes de vie. Par exemple, certaines personnes pourraient croire qu'elles sont hors de danger en consommant des aliments génétiquement manipulés pour produire des Oméga-3, une substance pouvant protéger contre les maladies cardio-vasculaires. Celles-ci pourraient abandonner leur régime alors qu'elles devraient continuer à le suivre. De plus, ces aliments risquent de provoquer certains effets pervers. Par exemple, parce qu'un brocoli serait enrichi de calcium par une manipulation génétique quelconque, certaines personnes pourraient avoir tendance à ne plus consommer de produits laitiers. ( **France , 2002**)

- Certains de ces aliments pourraient aussi dépasser les limites de vitamines, protéines et minéraux acceptables. Actuellement ; Par exemple, les teneurs en éléments nutritifs des pommes de terre ou du maïs, par exemple, doivent s'inscrire dans une plage connue. Toute concentration d'un élément nutritif en particulier qui dépasse les valeurs inférieures et supérieures de la plage en question, pourrait provoquer des effets néfastes sur la santé. Ainsi, les personnes qui consomment une forte proportion de l'aliment en question pourraient se retrouver avec des problèmes de santé. Par exemple, un excès de vitamines D peut être dangereux pour une personne faisant des calculs rénaux, car la vitamine D favorise la fixation du calcium par les os. La vitamine A, consommée en excès pour les femmes enceintes, peut être très dangereuse pour le bébé qui peut développer des malformations. Finalement, une surconsommation de bêta-carotène pourrait, selon certaines études, causer l'apparition de cancers chez les fumeurs. Ainsi, non seulement il pourrait y avoir des risques d'excès de certains nutriments mais aussi des antagonismes, comme par exemple, l'annulation de l'effet d'un nouveau produit contenant un élément gras non absorbable par un élément enrichi en vitamine A.( **France , 2002**)

- Les OGM influenceraient d'ailleurs l'apparition de certaines pathologies, comme le cancer.

Des expériences menées sur des souris en Autriche auraient aussi permis de mettre en avant l'impact de ces aliments génétiquement modifiés sur la fertilité. En effet, les souris à qui l'on avait donné du maïs transgénique s'avéraient moins fertiles que celles nourries au maïs naturel.

La production agricole de ces aliments transgéniques nécessite d'ailleurs l'utilisation intensive de produits chimiques, qui en plus d'être néfastes pour la santé ont aussi des répercussions sur l'environnement.[24]

### **4.2. Le risque sur l'environnement**

#### **4.2.1. Les flux de gènes et la dissémination de gènes résistants aux herbicides**

La culture de plantes transgéniques peut provoquer la diffusion des gènes, introduits par transgénèse, aux variétés non modifiées de la même espèce ou aux espèces apparentées. Cette dissémination de gènes, qui existe d'ailleurs déjà chez les plantes à l'état naturel, est appelée « flux de gènes ». Ces flux de gènes sont fréquents entre plantes de la même espèce : le pollen est, d'une façon générale, le vecteur privilégié de dissémination des gènes, et donc potentiellement d'un transgène, dans le cas d'une espèce génétiquement modifiée, via le vent ou les insectes pollinisateurs.

La probabilité de réalisation d'un flux de gènes se pose différemment selon les espèces et l'écosystème concerné.

On considère en effet que des plantes comme le maïs, la pomme de terre, le tabac ou le soja, qui ne sont pas originaires d'Europe, ne posent pas, dans l'ensemble, de problème de transmission aux espèces sauvages apparentées, car il n'existe pas, dans l'écosystème européen, une espèce sauvage avec laquelle elles soient susceptibles de se croiser. Le maïs, notamment, est à ce point domestiqué qu'il ne peut survivre sans l'intervention de l'homme. Il est peu probable que des graines issues de fertilisations croisées aient une descendance.

Pour d'autres espèces, comme le colza, la betterave ou la chicorée, la probabilité d'un flux de gènes au sein de l'espèce avec des espèces proches n'est pas nulle. En particulier, le colza peut se croiser avec d'autres crucifères sauvages telle que la ravenelle, la roquette bâtarde ou plus rarement la moutarde des champs. Les échanges inter-variétaux sont également probables pour les betteraves sucrières dont les cultures sont traditionnellement contaminées par des betteraves mauvaises herbes. (AUBERT, 2000)

### **4.2.2. Les conséquences des OGM sur les insectes utiles non ciblés**

On relève également la sensibilité de certains organismes non ciblés, les insectes non nuisibles par exemple. Ainsi les maïs transgéniques Bt16 modifiés pour se défendre contre les insectes nuisibles comme la pyrale tuent également des insectes utiles. L'exemple le plus révélateur étant celui des larves de chrysopes vertes, prédatrices des chenilles dévoreuses de maïs, qui sont empoisonnées par la toxine présente dans l'estomac de ces dernières, rendue plus nocive encore par le processus de digestion. Les gènes modifiés entrent ainsi dans la chaîne alimentaire et peuvent provoquer des perturbations conséquentes des équilibres écologiques entre les populations d'insectes.

### **4.2.3. Des risques indirects liés à l'augmentation de la pulvérisation d'herbicides totaux**

L'utilisation accrue de produits chimiques en agriculture du fait du développement d'OGM tolérants aux herbicides totaux pose également un réel problème. La pulvérisation massive de ces herbicides – Roundup et Liberty principalement – auxquels seules les plantes génétiquement modifiées résistent tend à réduire dramatiquement la variété des plantes et donc à conduire à un appauvrissement de la biodiversité. En effet la destruction de certaines herbes attirant oiseaux, abeilles et papillons en réduit les populations. De plus l'apparition d'insectes nuisibles résistants à la toxine secrétée par la plante, si elle n'est pas avérée, est très probable. Ces insectes « super résistants » constitueraient une menace sérieuse pour les cultures, dès lors sans défenses. Une telle situation entraînerait bien sûr la mise au point de nouveaux pesticides, toujours plus puissants et plus nocifs pour l'environnement. Les risques encourus du fait d'une utilisation exponentielle des herbicides totaux auxquels résistent les OGM ne sont pas non plus négligeables lorsque l'on connaît la toxicité de ces produits hypocritement présentés comme écologiques. Le Roundup est en effet la troisième cause de maladies liées à la manipulation des pesticides par les agriculteurs américains et divers programmes de recherches ont mis en lumière ses effets cancérigènes. Pour exemple, les recherches du CNRS de Roscoff sur le Roundup menées en 2002 sur des embryons d'oursin ont mis en lumière l'action de l'herbicide sur le régulateur de la division cellulaire, dont le dysfonctionnement est à l'origine du développement des cancers. Selon des études plus récentes réalisées mai 2007 par l'équipe du professeur Gilles-Eric Séralini, membre du Comité de recherche et d'information indépendantes sur le génie génétique, « on observe les premiers effets toxiques [du Roundup] à des doses 10000 fois moins concentrées que la

formulation vendue en magasin ». Le Roundup est, en outre, plus toxique que son principe actif (le glyphosate) alors que la majorité des tests avant homologation sont conduits sur cette seule molécule. Ces résultats demandent bien sûr à être confirmés par des études plus poussées, mais ils n'en restent pas moins troublants

L'ensemble de ces risques, plus ou moins hypothétiques, appellent une démarche de précaution, principalement en ce qui concerne l'exploitation agricole des techniques du génie génétique. Nous remarquerons en effet que la grande majorité de ces risques concerne l'utilisation d'OGM à des fins agricoles et alimentaires. (LANAYRIE, 2008)

### **5. Les avantages**

#### **5.1. Les avantages sanitaire**

##### **5.1.1. Réduire l'incidence d'états ou de maladies en rapport avec la nutrition**

Selon les chiffres de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), fin 2017, quelque 37 millions de personnes vivaient avec le VIH.

Ces chercheurs ont mis au point un riz génétiquement modifié qui contient les mêmes protéines neutralisantes pour le VIH que les médicaments oraux. Ce riz très particulier produit ainsi un type d'anticorps et deux types de protéines qui se lient directement au VIH. Ils l'empêchent, de fait, d'interagir avec les cellules humaines. Une crème de riz pour remplacer les médicaments oraux.

Une fois cultivé, ce riz génétiquement modifié peut être transformé en une crème, qui, appliquée sur la peau, permettra aux protéines de pénétrer dans le corps. Les chercheurs affirment que le coût de production est négligeable, et que la crème peut être facilement obtenue localement.

Il reste toutefois des tests à effectuer sur ce riz, afin de s'assurer d'abord que le génie génétique mis en œuvre ici ne génère pas de sous-produit nocif pour l'être humain. Les chercheurs craignent par ailleurs que la mauvaise presse des OGM ne joue en défaveur de la solution proposée. Quoi qu'il en soit, il faudra surmonter quelques difficultés, au moins réglementaires, propres à chaque région du monde avant de lancer la culture de ce riz. [25]

On envisage de mettre au point d'autres plantes génétiquement modifiées qui possèdent des caractéristiques nutritionnelles ciblant des problèmes de santé majeurs. Il existe un certain

nombre de plantes génétiquement modifiées à partir desquelles on produit des aliments dans le but d'améliorer la santé et la fonctionnalité alimentaire: par exemple, deux variétés de riz génétiquement modifié, l'une renfermant du bêta-carotène et l'autre ayant une teneur réduite en un constituant indésirable pour le brassage du saké (la glutéline), ou bien des graines oléagineuses dans lesquelles le profil des acides gras a été modifié par des techniques de mutation naturelles ou par une technique de recombinaison d'ADN. Récemment, on a produit des huiles de colza canola et de soja ayant à la fois un taux réduit d'acides gras saturés et un taux accru d'acide oléique, dans le but d'abaisser leur teneur en cholestérol total et en lipoprotéines de basse densité (LDL), l'un des facteurs de risque des maladies cardiovasculaires, tout en améliorant leur fonctionnalité. Les participants à la consultation ont eu des précisions sur le « riz doré » dont il a été question récemment et qui a été conçu en particulier pour cibler le déficit en vitamine A, et des tubercules de pomme de terre dans lesquels l'amidon est plus abondant et mieux distribué, ce qui accroît le rendement du traitement, diminue l'absorption des graisses et améliore la texture. L'une des causes de cécité chez les habitants des pays en développement. Ces exemples montrent que les aliments ayant des profils nutritionnels modifiés sont capables de réduire l'incidence d'états ou de maladies en rapport avec la nutrition. (OMS ,2000)

### **5.2. Les avantages environnementaux**

#### **5.2.1. Moins de mauvaises herbes et d'insectes ravageurs**

Les insectes ravageurs peuvent causer de graves dommages dans certaines cultures et entraîner des pertes financières importantes. Les agriculteurs ont l'habitude d'utiliser des insecticides en grandes quantités pour les vaincre. Les OGM permettent à la plante de lutter elle-même contre les insectes en produisant une protéine qui les tue. Ainsi, les agriculteurs ont moins recours aux produits chimiques et la pollution des eaux et des sols est moindre.

Pour lutter contre les mauvaises herbes, des plantes GM ont été créées de manière à résister au produit qui va donc tuer les mauvaises herbes seulement. En fait, l'agriculteur va pouvoir passer un herbicide dans son champ quand la plante cultivée est en train de pousser. Toutes les mauvaises herbes meurent mais pas la plante, qui continue de grandir. Ces plantes représentent aujourd'hui la majorité des cultures dans le monde, notamment des plantes GM résistantes à l'insecticide Round Up qui sont les plus connues et les plus utilisées.

### 5.2.2. Tolérance au froid, au chaud et au sel

Des gels intempestifs peuvent, dans certaines régions du monde, détruire définitivement des plantations. L'agriculteur peut perdre alors la totalité de sa culture pour l'année. Pour y remédier, un gène anti-gel provenant d'un poisson d'eau froide a été introduit dans des plantes telles que le tabac ou la pomme de terre. Avec ce gène, ces cultures tolèrent un froid qui les aurait normalement tuées.

Quelques plantes GM ont été pensées pour remédier aux problèmes de pollution de l'environnement. Par exemple, une variété de peuplier a été génétiquement modifiée pour nettoyer le sol de la contamination par les métaux lourds.

De la même manière, certaines plantes GM ont été créées pour résister à la sécheresse pendant de longues périodes sans pluie et à une forte salinité du sol qui prévoit la future pénurie d'eau d'irrigation. [26]

## 6. Futurs produits à risque possibles

Le Comité scientifique s'est interrogé sur l'éventualité de voir à l'avenir de nouveaux produits OGM sur notre territoire. Des événements à risque ont pu être identifiés en se fondant sur un rapport de l'ISAAA et sur la base de données de l'ISAAA qui répertorie les OGM autorisés dans différents pays du monde. Il existe pour différentes espèces, comme les pommes de terre, les papayes, la moutarde, les aubergines, les tomates, les pommes, les ananas et le saumon atlantique, des variétés d'OGM qui peuvent potentiellement être introduites sur notre marché. Les produits présentant un phénotype clair, comme l'ananas rose et la pomme qui ne brunit pas, sont faciles à reconnaître visuellement, de sorte que l'on estime qu'il est peu probable que ces produits non autorisés soient commercialisés chez nous sans être remarqués.

Le saumon atlantique OGM est autorisé sur le marché canadien sans étiquetage OGM obligatoire. Il n'y a pas encore de méthode validée disponible en Belgique pour la détection de ce saumon transgénique. La méthode développée dans le LNR belge pour les OGM est actuellement validée en Allemagne puisqu'ils disposent là-bas d'échantillons positifs qui ne peuvent pas être transmis en raison du MTA (matérieltransfer agreement) correspondant. Il ressort d'une évaluation de l'AFSCA que la production de saumon transgénique est actuellement insuffisante que pour représenter un risque pour son exportation en Europe.

Néanmoins, il n'est pas exclu que cela change dans quelques années. Aussi, est-il important de suivre l'évolution de la production de saumon transgénique.

En ce qui concerne les plantes OGM, le Comité scientifique estime qu'à l'état de produit transformé (donc pas comme produit frais), ce sont les tomates transgéniques qui présentent actuellement la plus grande probabilité de se retrouver sur le marché belge. Le Comité scientifique conseille de prévoir une action unique pour les OGM non autorisés dans des produits à base de tomates provenant de pays à risque, comme la Chine. Une bonne répartition des échantillons est aussi très importante pour avoir une image claire de ce qui est présent sur le marché. Puisqu'il n'y a pas au sein de l'Union européenne d'OGM autorisé pour la tomate, un premier criblage peut être réalisé à l'aide de marqueurs généraux, comme p35S, cry et tnos. [27]

# Conclusion

#### **IV .Conclusion**

Il n'existe pas de conclusions définitives sur les AGM. Puisque les données scientifiques sont insuffisantes, il n'est pas possible, dans l'état actuel des connaissances, de prédire les effets des AGM sur la santé. Des risques potentiels de toxicité, d'allergénicité et de transfert de résistance aux antibiotiques ont été évoqués par plusieurs chercheurs reconnus dans le domaine. Il existe encore des incertitudes sur les mécanismes du transfert génique et de leurs effets sur les plantes. L'absence de recherches indépendantes et accessibles sur l'innocuité des AGM empêche l'évaluation adéquate des impacts sur la santé humaine. La mise en marché des AGM a eu lieu sans étiquetage, sans mécanisme de traçabilité et sans qu'aucune étude indépendante d'innocuité n'ait été réalisée. Des risques hypothétiques, d'effets toxiques ou allergènes de la nouvelle protéine encodée par le gène introduit de transfert de résistance aux antibiotiques et d'effets d'interaction, demandent qu'une approche basée sur la précaution soit appliquée. Des recherches sont nécessaires afin de réduire l'incertitude. Des mesures devraient être prises afin de permettre une gestion de la surveillance des effets inattendus ainsi que du risque résiduel tel que, par exemple, le retrait rapide d'un produit qui s'avèrerait inadéquat.

# **Références Bibliographiques**

V .Références bibliographiques

- [1] **Aissous A ., Dali Kh ., Djednel B ., (2011).** Les céréales transgéniques : risques et avantages : Biochimie microbiologie appliquée. Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 de Guelma, 7-8p.
- [2] **Alvarez S., Bordelet A ., Declémy A ., Maurer S ., Moisan F., (2005).** Les biotechnologies agricoles peuvent-elles venir en aide aux pays les plus démunis ? Exemple du riz doré.2-3p.
- [3] **Araceli CE., Daniel V.D., Carlos Alberto M.H.,(2017).**The role of biotechnology in agricultural production and food supply.*ciencia e investigación agraria*, 4p.
- [4] **Aubert M., (2000).** La dissémination volontaire des OGM dans l’environnement. *L’assemblée nationale pour l’union européenne*, 22p.
- [5] **Binet J.L ., Ardaillou R ., Cambier J., (2002).** Bulletin de l’académie nationale de médecine, *C.N.R.S*, Paris. France.
- [6] **Bourguet D ., Desquilbe M ., Lemarié S., (2003).** Le dispositif des zones refuges pour le maïs Btaux tats-Unis. INRA,conomie et Sociologie rurales - université Pierre-Mendès-France. 82-83p.
- [7] **Brassart B., (2003).**Traçabilité et étiquetage des OGM dans l'alimentation : la nouvelle réglementation européenne*Coordinatrice de la “Veille Juridique sur les OGM*, 2p.
- [8] **Cliche D., (2002).**OGM et alimentation humaine : impacts et enjeux pour le Québec. *Transcontinental Litho Acme-Renaissance, Canada*.178, 16p.
- [9] **Cloutier M., (2006).**Étude économique sur les coûts relatifs à l’étiquetage obligatoire des filières génétiquement modifiées (GM) versus non-GM au niveau Québécois. Management et technologie : Université du Québec à Montréal, 9-10+53-54-55p
- [10] **Corrine K., (2013).**Risques sanitaires perçus et potentiels de la consommation d’animaux génétiquement modifiés.*Centre de collaboration nationale en santé environnementale*, 1P.
- [11] **Dacheux M., (2018).** La transgenese BT. *Muséum national d’Histoire naturelle – DIREF*, 3-4p.
- [12] **Flores J.L., (2019).** Le génie génétique en agriculture. *Bibliothèque du Parlement, Ottawa, Canada*, 1+2P.
- [13] **Fortin C., Dionne M ., Savard M ., Poulin M ., Nantel A .,Levac F ., Dessau J., (2001).** Aliments génétiquement modifiés et santé publique. *Institut national de santé publique du Québec*. p2+5.

- [14] **Fortin C., Dionne M ., Savard M ., Poulin M ., Nantel A .,Levac F ., Dessau J .,(2001).** Aliments génétiquement modifiés et santé publique. Institut national de santé publique du Québec..p9-11
- [15] **Houdebine L.M., (1987).** La transgénèse animale et ses risques. *Courrier de l'Environnement de l'iNRA*, 51-52p.
- [16] **Houdebine L.M., (2006).** (PGM), Plantes génétiquement modifiées et pays en développement. Vol 15 .227p.
- [17] **Huot F ., (2002).** Les avantages et les risques reliés à l'accès des consommateurs à la seconde génération d'aliments génétiquement modifiés. *Bureau de la Consommation, Industrie Canada*.3+10-11+13-17+24-25p.
- [18] **Hubert M., (2003).**L'utilisation du riz génétiquement modifié dans l'alimentation. Thèse de doctorat : Université de Nantes, Pages 45.
- [19] **Goudjil S., (2007).** L'impact du commerce international des OGM sur les pays en développement (Cas de l'Algérie). Mémoire de magistère : sciences économique. Université de Bijaia, 9+76-7P.
- [20] **Lanayrie S ., (2008).**Pour un principe de précaution effectif : l'exemple des organismes génétiquement modifiés (OGM) : Secteur affaires publiques, parcours affaires juridiques. Mémoire de master. Université Lumière Lyon, 16+17-18p.
- [21] **L'Association pour la santé publique de l'Ontario., (2001).**Protéger notre approvisionnement alimentaire : Conséquences de la biotechnologie alimentaire sur la santé publique, Pages 7-8
- [22] **Le Centre de collaboration nationale en santé environnementale, basé au Centre de contrôle des maladies de la Colombie-Britannique., (2013).** Risques sanitaires perçus et potentiels de la consommation d'animaux génétiquement modifiés.
- [23] **MOUBRI H., (2016).** Techniques de Détection des OGM dans les Aliments.Memoire de Master : Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. 10-11+14-15p
- [24] **Organisation mondiale de la Santé., (2005).** Biotechnologie alimentaire moderne, santé et développement: étude à partir d'exemples concrets. *Département Sécurité sanitaire des aliments\* Bibliothèque de l'OMS*. 2+43P.
- [25] **Organisation mondiale de la Santé., (2000).** Aspects de la salubrité des aliments génétiquement modifiés d'origine végétale. *Organisation mondiale de la Santé*, Genève, Suisse.9P.

- [26] Pfriquet A ., Boisset M ., Casse F., Catteau M ., Lecerf J., Leguille C., Veschambre D ., Barnat S.,(2007). Les Plantes Génétiquement Modifiées. *Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL*. 57P.
- [27] Rahdoun N.H., Boukraa I ., (2019). Les OGM : Enjeux et risques. Université 8 Mai 1945 Guelma. Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire : Mémoire de Master. 49P.
- [28] Sharaf Abdeljalil M., (2004).Connaissances et attitudes du consommateur Egyptien et Français envers les Aliments Génétiquement Modifiés sur le marchés (Étude comparative).Thèse du doctorat : sciences humaines et sociales. Université Paris Descartes, 25-28p.
- [29] Vélot Ch., Séralini G.É., (2011). Les OGM agricoles aujourd'hui. *Presses de Sciences Po*, 43 .30P.

### Les sites :

- [1] : Les OGM dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire.<http://www.fao.org/3/X9602f/x9602f05.htm#TopOfPage>. Consulté le 15/6/2020.
- [2] : Histoire de la biotechnologie.[https://fr.wikiversity.org/wiki/Histoire\\_de\\_la\\_biotechnologie](https://fr.wikiversity.org/wiki/Histoire_de_la_biotechnologie). Consulté le 14/6/2020.
- [3] : Définition d'ADN recombinant. <https://www.aquaportail.com/definition-12117-adn-recombinant.html>. Consulté le 15/6/2020.
- [4] : OGM : environnement et progrès.<http://environnement-progres-tpe-ogm.e-monsite.com/pages/generalites-sur-les-ogm/la-biologiste.html> . Consulté le 16/6/2020.
- [5] : Les OGM.<http://www.chimie-sup.fr/OGM.htm>. Consulté le 16/6/2020.
- [6] : OGM. <http://www.ogm.org/OGM%20et.../OGM%20et%20alimentation/les-champs-dapplication-du-genie-genetique-dans-lalimentation.html> CONSULT2. Consulté le 20/6/2020.
- [7] : OGM.[http://www.ogm.gouv.qc.ca/information\\_generale/info\\_ogm/info\\_quoi.html#1](http://www.ogm.gouv.qc.ca/information_generale/info_ogm/info_quoi.html#1). Consulté le 12/6/2020.
- [8] : OGM : organismes génétiquement modifiés. <https://www.notre-planete.info/ecologie/alimentation/organismes-genetiquement-modifies-OGM.php#application>. Consulté le 15/6/2020.

- [9] : Transgènes chez les plants .Etapas. <http://www.biotech-ecolo.net/genetic-engineering/transgenese-etapes.html>. Consulté le 17/6/2020
- [10] : Suivre l'évolution continue de l'amélioration des plantes. <https://www.gnis-pedagogie.org/sujet/biotechnologies-etapes-transgenese/>. Consulté le 20/6/2020.
- [11] : Aliments génétiquement modifiés. <https://thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/aliments-genetiquement-modifies>. Consulté le 8/6/2020.
- [12] : Plantes Génétiquement Modifiées. <https://www.slideserve.com/tory/plantes-g-n-tiquement-modifi-es>. Consulté le 16/8/2020.
- [13] : Bacillus Thuringiensis Caroline Mifsud PHR 7588  
Blog. [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fu.osu.edu%2Fcmifsud7588%2F2019%2F05%2F18%2Fbacillus-thuringiensis%2F&psig=AOvVaw2gamGOOTqY1etqVc5sk\\_ab&ust=1601215116439000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCMiZ08r8huwCFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fu.osu.edu%2Fcmifsud7588%2F2019%2F05%2F18%2Fbacillus-thuringiensis%2F&psig=AOvVaw2gamGOOTqY1etqVc5sk_ab&ust=1601215116439000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCMiZ08r8huwCFQAAAAAdAAAAABAE). Consulté le 26/9/2020.
- [14] : Mais. <https://www.vigilanceogm.org/les-ogm/mais> . Consulté le 15/6/2020.
- [15] : Mais se transforme-t-il en Pop Corn ?. <http://tpe-lepopducorn.e-monsite.com/pages/i-la-composition-du-mais.html>. Consulté le 18/7/2020.
- [16] : Pyrale du maïs et résistance au maïs transgénique. <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/recherche-pyrale-mais-resistance-mais-transgenique-9009/>. Consulté le 20/6/2020.
- [17] : [http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id\\_article=2083](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=2083). Consulté le 25/6/2020
- [18] : Préoccupations relatives à la production du riz. <http://www.fao.org/french/newsroom/news/2002/7538-fr.html>
- [29] : Le "riz doré", OGM au cœur d'une guerre entre Greenpeace et 109 prix Nobel. [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.latribune.fr%2Fentreprises-finance%2Findustrie%2Fenergie-environnement%2Fle-riz-dore-ogm-au-coeur-d-une-guerre-entre-greenpeace-et-109-prix-nobel-583558.html&psig=AOvVaw1g4hZ-Hygb9D\\_0UuuPl\\_jk&ust=1598740458119000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOCY5fz6vusCFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.latribune.fr%2Fentreprises-finance%2Findustrie%2Fenergie-environnement%2Fle-riz-dore-ogm-au-coeur-d-une-guerre-entre-greenpeace-et-109-prix-nobel-583558.html&psig=AOvVaw1g4hZ-Hygb9D_0UuuPl_jk&ust=1598740458119000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOCY5fz6vusCFQAAAAAdAAAAABAJ). Consulté le 28/8/2020.

[20] : Fruits Légumes OGM. <https://www.stopogm.ch/17-themen/lebensmkat/501-apres-le-riz-dore-la-banane-plantain-gm-dopee-a-la-vitamine-a>. Consulté le 12/8/2020.

[21] : Riz - Tomate -Blé -Lin. <https://www.vigilanceogm.org/les-ogm/riz-tomate-ble-lin>. Consulté le 7/8/2020.

[22] : <http://www.biotech-ecolo.net/genetic-engineering/transgenese-maize-potato-soybean.htm> consulté le 12/8/2020.

[23] : Aliments génétiquement modifiés et risques pour la santé. <https://inspq.qc.ca/bise/aliments-genetiquement-modifies-et-risques-pour-la-sante> . Consulté 8/6/2020.

[24] : Les dangers potentiels des aliments génétiquement modifiés. <https://www.2min.fr/cuisine/les-dangers-des-aliments-genetiquement-modifies-11192> . Consulté le 18/8/2020.

[25] : OGM: du riz génétiquement modifié contre le VIH. <https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/medecine-ogm-riz-genetiquement-modifie-vih-34479/>. Consulté le 18/8/2020.

[26] : Les avantages des OGM. <https://www.lanutrition.fr/bien-dans-son-assiette/bien-manger/risques/ogm/les-avantages-des-ogm>. Consulté le 28/8/2020.

[27] : Évaluation du programme d'analyses de l'AFSCA concernant les OGM et leurs produits dérivés dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux. [http://www.afsca.be/comitescientifique/avis/2018/\\_documents/Avis01-2019\\_SciCom2018-09\\_OGM.pdf](http://www.afsca.be/comitescientifique/avis/2018/_documents/Avis01-2019_SciCom2018-09_OGM.pdf) . Consulté le 28/8/2020.