

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

Les aliments génétiquement modifiés et sécurité alimentaire

Présenté par :

Saioudi Anis

Membres de jury :

Président : Dr.Ferhi sarra

Université de Guelma

Examineur : Dr.Taleb Yasmine

Université de Guelma

Encadreur : Pr. SOUIKI Lynda

Université de Guelma

Année Universitaire 2024/2025

Remerciement

Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices ; nos remerciements vont d'abord à ALLAH pour nous avoir aidé à achever ce travail et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette année d'études.

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 Mme. SOUIKI

Lynda pour son soutien continu et sa patience en cours de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement Mme Ferhisarra,

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. Taleb Yasmine.

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.

Résumé

La biotechnologie a joué un rôle majeur dans l'apparition des organismes génétiquement modifiés (OGM), touchant l'ensemble du vivant, des plantes aux animaux en passant par les micro-organismes. Dans le domaine de l'agriculture et de l'alimentation, elle a permis le développement d'aliments génétiquement modifiés (AGM) dotés de nouvelles caractéristiques, notamment pour améliorer leurs qualités nutritionnelles. Ces aliments, issus de la deuxième génération de biotechnologies agricoles, sont conçus pour améliorer la qualité de vie des consommateurs en aidant à prévenir certaines maladies.

Cependant, l'utilisation des OGM dans la production alimentaire humaine reste très controversée en Europe, où ce débat est alimenté par des préoccupations liées à des catastrophes sanitaires et environnementales passées. En réponse, l'Union européenne a mis en place une politique stricte de séparation entre produits contenant ou non des OGM, avec une obligation d'étiquetage afin d'assurer une transparence totale envers les consommateurs.

Par ailleurs, il est clair que la présence de gènes modifiés, comme ceux conférant une résistance aux antibiotiques ou ceux issus de la croissance hormonale humaine, suscite des inquiétudes quant à leurs effets sur les ressources naturelles - la terre, les plantes, les animaux d'élevage, les poissons, les insectes bénéfiques - ainsi que sur la santé humaine, notamment en ce qui concerne le risque de maladies allergiques. Ces questions soulignent l'importance d'un encadrement rigoureux et d'une évaluation continue des impacts des OGM sur l'environnement et la société.

Mots clés : O.G.M, risques, AGM, étiquetage, consommateur, l'alimentation.

Summary

Biotechnology has played a major role in the emergence of genetically modified organisms (GMOs), affecting all forms of life-from plants and animals to microorganisms. In the fields of agriculture and food production, it has enabled the development of genetically modified foods (GMFs) with new traits, particularly aimed at improving their nutritional qualities. These foods, part of the second generation of agricultural biotechnologies, are designed to enhance consumers' quality of life by helping to prevent certain diseases.

However, the use of GMOs in human food production remains highly controversial in Europe, where the debate is fueled by concerns stemming from past health and environmental disasters. In response, the European Union has implemented a strict policy separating products containing GMOs from those without, including mandatory labeling to ensure full transparency for consumers.

Moreover, it is clear that the presence of modified genes-such as those conferring antibiotic resistance or derived from human growth hormones-raises concerns about their effects on natural resources, including soil, plants, livestock, fish, beneficial insects, as well as on human health, particularly regarding the risk of allergic diseases. These issues highlight the importance of rigorous regulation and continuous evaluation of the impacts of GMOs on the environment and society.

Keywords: GMO, risks, GMF, labeling, consumer, food.

ملخص

لعبت التكنولوجيا الحيوية دورًا رئيسيًا في ظهور الكائنات المعدلة وراثيًا (GMOs) ، حيث أثرت على جميع أشكال الحياة من النباتات والحيوانات إلى الكائنات الدقيقة. في مجالات الزراعة وإنتاج الغذاء، أتاحت هذه التكنولوجيا تطوير أطعمة معدلة وراثيًا (GMFs) تحمل صفات جديدة، تهدف بشكل خاص إلى تحسين قيمتها الغذائية. تُعد هذه الأطعمة جزءًا من الجيل الثاني من biotechnologies الزراعية، وهي مصممة لتحسين جودة حياة المستهلكين من خلال المساعدة في الوقاية من بعض الأمراض.

ومع ذلك، لا يزال استخدام الكائنات المعدلة وراثيًا في إنتاج الغذاء البشري يثير جدل كبير في أوروبا، حيث يغذي النقاش المخاوف الناجمة عن كوارث صحية وبيئية سابقة. استجابة لذلك، نفذت الاتحاد الأوروبي سياسة صارمة تفصل بين المنتجات التي تحتوي على كائنات معدلة وراثيًا وتلك التي لا تحتوي عليها بما في ذلك إلزامية وضع علامات واضحة لضمان الشفافية الكاملة للمستهلكين.

علاوة على ذلك، من الواضح أن وجود جينات معدلة - مثل تلك التي تمنح مقاومة للمضادات الحيوية أو المستمدة من هرمونات النمو البشرية - يثير قلقًا بشأن تأثيرها على الموارد الطبيعية، بما في ذلك التربة والنباتات والحيوانات الأليفة والأسماك والحشرات المفيدة، وكذلك على صحة الإنسان، لا سيما فيما يتعلق بخطر الإصابة بأمراض الحساسية. تؤكد هذه القضايا على أهمية التنظيم الصارم والتقييم المستمر لتأثيرات الكائنات المعدلة وراثيًا على البيئة والمجتمع.

كلمات المفتاح: الكائنات المعدلة وراثيًا، المخاطر، الأطعمة المعدلة وراثيًا، الوسم، المستهلك، الغذاء.

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I : Généralités.....	4
1. La Biotechnologie.....	4
1.1. Historique de la biotechnologie.....	4
1.1.1. Biotechnologie primitive.....	4
1.1.2. Biotechnologie moderne	4
1.1.3. Biotechnologie de nos jours.....	5
1.2. Définition de la biotechnologie.....	5
1.3. La biotechnologie alimentaire.....	6
2. Le génie génétique.....	6
2.1. Définition du génie génétique.....	7
2.2. La principale technique du génie génétique	8
2.2.1. Techniques de l'ADN recombinant.....	8
2.3. Les champs d'application du génie génétique dans l'alimentation	11
3. Les organismes génétiquement modifiés (OGM)	12
3.1. Historique	12
3.1.1. La naissance des premiers OGM (les années 70)	12
3.1.2. Le développement d'une technique d'insertion chez les végétaux (les années 80).....	13
3.1.3. Approbation d'OGM au Canada (les années 90)	13
3.2. Définition d'organismes génétiquement modifiés	13
4.1. Les cinq catégories de gène en cause	15
4.1.1. La résistance aux insectes.....	15
4.1.2. Les gènes conférant une résistance à certains herbicides.....	16
4.1.3. Les gènes marqueurs codant une résistance aux antibiotiques	17

4.1.4. Gènes entraînant la stérilité du mâle	17
4. Les étapes de la transgénèse.....	17
5. Variétés d'organismes génétiquement modifiés	20
5.1. Animaux transgéniques	20
5.2. Plantes transgéniques	21
5.3. Bactéries transgéniques	23
Chapitre II : Aliments Génétiquement Modifiés.....	25
1. Définition	25
3. Les aliments d'origine végétale.....	26
3.1. Exemples de produits végétaux transgéniques actuellement en développement.....	26
3.2. Les cultures transgéniques à l'échelle mondiale	28
3.2.1. Les céréales transgéniques	29
3.2.2. Les fruits et légumes	29
4. Animaux génétiquement modifiés	31
4.1. La consommation des animaux transgéniques.....	31
4.2. Les règles de dissémination des animaux transgéniques.....	32
5. Les microorganismes d'intérêt alimentaire	32
6. L'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés.....	33
7. L'encadrement des aliments génétiquement modifiés	34
7.1. Réglementation européenne actuelle	34
7.2. Étiquetage	35
7.3. La traçabilité	35
Chapitre III : Aliments Génétiquement Modifiés et la Sécurité Alimentaire.....	38
1. La sécurité alimentaire	38
2. Parvenir à la sécurité alimentaire.....	38
3. Les principes de santé publique en matière de réglementation des aliments	

4. Les risques des animaux génétiquement modifiés (AGM)	40
4.1. Les risques pour la santé	40
4.2. Les risques pour l'environnement	40
5. Les avantages.....	41
5.1. Les avantages sanitaires	41
5.2. Les avantages environnementaux.....	42
6. Futurs produits à risque possibles.....	43
Conclusion	45
Références	46

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxyribonucléique

AGM : Aliments génétiquement modifiés.

ALS : Amyotrophiclateral sclerosis

ASPO : American society of pediatrice otolaryngology

AFSCA : Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire

Bt : *Bacillusthuringiensis*.

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

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

CRISPR : clustered regularly interspaced short palindoromicrepezts

EPO : European Patent Office

EPA : Environmental Protection Agency

Enviropig MC : La commission ontarienne de commercialisation du proc ,
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 géranylgéranyle

LDL : low-densitylipoprotein

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 :Terminateur nopalinesynthase

UE :Union Européenne

VIH : Virus de l'immunodéficience humaine

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'une recombinaison donnant de l'ADN recombiné	8
Figure 2 : : La technique de la Biolistique 4.....	9
Figure 3 : Schéma récapitulatif de la micro-injection.	10
Figure 4 : :La technique de L'électroporation	11

Introduction

Introduction

Le génie génétique, un domaine clé des biotechnologies modernes, consiste à utiliser les techniques avancées de biologie moléculaire pour modifier le patrimoine génétique d'un organisme en ajoutant ou supprimant des gènes spécifiques. On parle alors d'organismes génétiquement modifiés (OGM), d'organismes vivants modifiés (OVM) ou d'organismes transgéniques, désignant tout être vivant dont le matériel génétique a été recombiné de manière inédite grâce à ces technologies. Cette méthode, qui va bien au-delà des croisements traditionnels, est particulièrement répandue dans la culture des céréales.

À l'origine, on espérait que cette technologie deviendrait un outil majeur pour résoudre les défis liés à l'approvisionnement alimentaire mondial. Si cet objectif n'a pas encore été pleinement atteint, il est important de reconnaître les avancées significatives réalisées grâce à la découverte de microorganismes et au développement de produits biologiques, biochimiques et moléculaires. Ces progrès ont largement contribué à faire évoluer cette branche scientifique, ouvrant la voie à de nombreuses applications innovantes.(*Gupta, et al., 2016*).

Les interventions biotechnologiques se sont principalement orientées vers l'amélioration du goût, de l'arôme, de la durée de conservation, de la texture et de la valeur nutritionnelle des aliments, en utilisant des techniques telles que la fermentation, la technologie enzymatique, la nanotechnologie et la biologie moléculaire (Araceli et al., 2017). Cependant, l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans la production alimentaire humaine demeure très controversée en Europe, en raison notamment des préoccupations liées à des catastrophes sanitaires et environnementales passées. En réponse, l'Union européenne a mis en place une politique stricte de séparation entre produits contenant ou non des OGM, avec une obligation d'étiquetage pour garantir la transparence envers les consommateurs.

Les aliments génétiquement modifiés, conçus pour améliorer leurs qualités nutritionnelles, représentent la deuxième génération des biotechnologies appliquées à l'agriculture. Ces innovations visent à améliorer la qualité de vie en prévenant certaines maladies et en apportant des bienfaits physiologiques démontrés. Actuellement, des recherches sont en cours pour développer des cultures présentant de

nouveaux profils en lipides, protéines, glucides, vitamines et autres micro-constituants essentiels. Par ailleurs, les manipulations génétiques cherchent aussi à éliminer des composés indésirables ou antinutritionnels. Ainsi, des aliments fonctionnels génétiquement modifiés sont créés par le clonage de gènes nutritionnels bénéfiques, qui sont ensuite transférés dans des cultures déficientes afin d'enrichir leur valeur nutritive(*Mirko, et al., 2009*).

Pour approfondir notre sujet, nous avons organisé ce mémoire en trois chapitres distincts.

Le premier chapitre offre une introduction générale à la biotechnologie et aux organismes génétiquement modifiés (OGM), posant ainsi les bases nécessaires à la compréhension du thème.

Le deuxième chapitre, qui constitue le cœur de notre travail, définit précisément ce que sont les aliments génétiquement modifiés, tout en présentant plusieurs exemples d'animaux génétiquement modifiés (AGM) ainsi que leur situation actuelle.

Enfin, le troisième chapitre est consacré à la sécurité alimentaire, en abordant les risques potentiels que ces technologies peuvent représenter pour la santé humaine et l'environnement.

Chapitre 1 Généralités

Chapitre I : Généralités

1 La Biotechnologie

1.1. Historique de la biotechnologie

1.1.1. Biotechnologie primitive

La biotechnologie est l'une des sciences majeures du XXI^e siècle. Bien que la plupart de ses découvertes soient relativement récentes, datant d'un peu plus d'un siècle, certaines de ses premières applications remontent à plusieurs millénaires.

Dès les débuts, l'Homme a ressenti le besoin crucial de conserver ses aliments tout en éliminant les agents pathogènes, ainsi que de produire des boissons dans lesquelles les micro-organismes ne pouvaient pas proliférer. Cela a conduit à la mise au point de méthodes de conservation telles que le séchage, l'ajout de sel ou de sucre, qui sont sans doute à l'origine de la fermentation. Ces procédés ont permis la création d'aliments et de boissons comme le pain, le fromage, la bière et le vin, tout en trouvant aussi des applications dans d'autres domaines, comme le tannage des peaux. (*Young, 1986*).

1.1.2. Biotechnologie moderne

La biotechnologie moderne puise ses racines dans plusieurs travaux menés à la fin du XIX^e siècle, qui furent repris et développés tout au long du XX^e siècle, notamment grâce à l'industrialisation et aux efforts déployés par les pays lors des deux guerres mondiales.

Louis Pasteur a notamment introduit l'utilisation de micro-organismes purs et de milieux de culture stériles, conduisant à la mise au point de la pasteurisation. Ce fut le point de départ de la lutte contre les micro-organismes pathogènes, suivie par la découverte fortuite mais majeure de la pénicilline par Alexander Fleming.

Par ailleurs, de nombreuses avancées ont concerné l'usage d'enzymes, extraites notamment de déchets d'abattoirs ou de cultures fongiques, qui ont révolutionné des secteurs comme la tannerie. L'emploi de germes aérobies ou anaérobies a permis d'améliorer le traitement des eaux usées, tandis que la découverte de composés tels que la glycérine et l'acétone a facilité la fabrication d'explosifs. (*Gupta, et al., 2016*).

1.1.3. Biotechnologie de nos jours

Depuis la Seconde Guerre mondiale, la biotechnologie a connu une explosion de découvertes. Elle est désormais omniprésente, allant des technologies de pointe comme les tomates transgéniques, le clonage d'animaux ou le séquençage du génome humain, jusqu'aux applications quotidiennes, telles que l'ajout de protéases d'origine microbienne dans les lessives ou l'utilisation de présures microbiennes pour la fabrication du fromage.

La biotechnologie connaît un grand succès dans l'industrie pharmaceutique, où elle a permis la mise sur le marché de dizaines de produits, comme l'insuline humaine ou l'érythropoïétine (EPO), et ouvre la voie à l'espoir d'une thérapie génique dans un futur proche.

Cependant, ces avancées soulèvent de nombreuses questions sociétales. Par exemple, la naissance de la brebis Dolly a suscité un débat intense sur le clonage, posant aussi des interrogations éthiques sur le statut de l'embryon humain : à partir de quel moment peut-on considérer qu'il s'agit d'une vie humaine ? Le clonage humain est-il moralement acceptable ?

D'autres enjeux émergent, notamment sur les limites à ne pas dépasser dans la modification de la nature pour l'adapter à nos besoins, et sur les risques potentiels associés. Par ailleurs, le dépistage génétique soulève des préoccupations, notamment en ce qui concerne son impact sur les assurances maladie (*Turki, 2021*).

1.2. Définition de la biotechnologie

La biotechnologie est un domaine interdisciplinaire qui combine les sciences biologiques et l'ingénierie pour utiliser des organismes vivants, des cellules ou leurs composants afin de développer des produits et des services utiles sur les plans technique, scientifique et clinique. Elle englobe diverses applications dans la médecine, l'agriculture, l'industrie et l'environnement, visant à modifier ou exploiter des systèmes biologiques pour améliorer la santé humaine, la production alimentaire, la gestion environnementale, et bien d'autres secteurs.

Le terme « biotechnologie » a été introduit en 1919 par l'ingénieur hongrois Karl Ereky pour désigner les méthodes permettant de produire des biens à partir de matières premières grâce à des organismes vivants. Depuis, le champ s'est

considérablement élargi, intégrant des techniques modernes telles que le génie génétique, le clonage, et la production d'enzymes ou de vaccins. La biotechnologie inclut plusieurs sous-domaines, notamment la biotechnologie médicale (rouge), agricole (verte), industrielle (blanche), marine (bleue), alimentaire et environnementale (*NLM, 2019*)

1.3. La biotechnologie alimentaire

L'utilisation de la biotechnologie moderne dans la production alimentaire offre des opportunités prometteuses ainsi que des défis importants pour la santé humaine et le développement. Le génie génétique, l'une des biotechnologies modernes les plus reconnues, permet de modifier le patrimoine génétique des plantes, des animaux et des micro-organismes afin de leur conférer des caractéristiques impossibles à obtenir par les méthodes traditionnelles de reproduction et de sélection.

Outre la modification génétique, d'autres techniques telles que le clonage, les cultures de tissus ou l'amélioration génétique assistée par marqueurs sont également considérées comme des biotechnologies modernes. En dotant un organisme de nouveaux traits, ces technologies peuvent accroître la productivité agricole, améliorer la qualité, la valeur nutritionnelle et la transformation des produits alimentaires, contribuant ainsi directement au progrès humain, notamment en matière de santé.

Sous cet angle, ces innovations peuvent aussi générer des bénéfices indirects, comme la réduction de l'usage des produits agrochimiques, l'augmentation des revenus des agriculteurs, la durabilité des cultures et le renforcement de la sécurité alimentaire, en particulier dans les pays en développement (*Birindwa, 2019*).

2 Le génie génétique

Le génie génétique s'est rapidement imposé comme une méthode permettant d'obtenir plus facilement et avec une plus grande précision de nouvelles variétés, plus diversifiées que celles issues de la sélection traditionnelle. Le transfert de gènes offre en effet la possibilité d'introduire très rapidement un caractère déjà présent dans l'espèce, ou au contraire un caractère étranger, qui aurait très peu de chances d'apparaître naturellement, même après de longues périodes de sélection.

La transgénèse permet, en théorie, de créer rapidement des variétés dotées de traits avantageux, sans nécessiter de modifications dans les pratiques culturales. Cela

rend les organismes génétiquement modifiés particulièrement intéressants, notamment pour les pays en développement. Toutefois, l'efficacité réelle des OGM dépend des conditions économiques et de sécurité dans lesquelles ces nouvelles variétés sont mises à disposition des agriculteurs (*Baumas, 2024*).

2.1. Définition du génie génétique

Le génie génétique est une branche de la biotechnologie moderne qui consiste à modifier le génome ou le matériel génétique des organismes vivants. Cette technique permet d'ajouter des caractéristiques spécifiques à une plante ou un animal en manipulant directement leur génome. Le génie génétique s'appuie principalement sur l'utilisation de l'ADN recombinant, obtenu en assemblant plusieurs fragments d'ADN, généralement dans le cadre de manipulations génétiques.

Grâce à la technologie de recombinaison de l'ADN, il est possible d'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 méthode permet ainsi d'incorporer des gènes individuels dans des variétés agricoles déjà existantes et commercialisées.

L'édition génomique, une forme plus récente de génie génétique, permet de couper, remplacer ou insérer une séquence précise d'ADN dans le matériel génétique d'un organisme. Comme l'ADN recombinant, cette technologie facilite l'introduction de matériel génétique, mais elle offre également la possibilité de modifier le génome sans recourir à l'ADN étranger.

Ces modifications génétiques peuvent servir à ajouter, renforcer, supprimer ou atténuer un trait spécifique. L'édition génomique est largement utilisée en recherche, bien que jusqu'à récemment, elle ait été très coûteuse. Aujourd'hui, la technologie CRISPR, plus accessible, permet à un nombre croissant de chercheurs d'appliquer l'édition génomique en agriculture.

Le sigle CRISPR, signifiant « clustered regularly interspaced short palindromic repeats » (répétitions palindromiques courtes groupées et régulièrement espacées), décrit l'organisation de ce système immunitaire bactérien dans le génome (*Guimogo, 2018*).

2.2. La principale technique du génie génétique

2.2.1. Techniques de l'ADN recombinant

Les aliments transgéniques sont créés grâce à une technique appelée recombinaison d'ADN, appliquée à des espèces comestibles. Cette méthode permet de modifier des plantes, des animaux ou des micro-organismes en transférant des gènes d'un organisme à un autre. Concrètement, on isole un gène étranger que l'on insère ensuite dans une cellule hôte. Cette cellule utilise alors le code génétique de ce gène pour produire une nouvelle protéine, ce qui lui confère de nouvelles caractéristiques.

En général, on commence par isoler le gène d'intérêt provenant d'un organisme. Par exemple, le gène de résistance à un herbicide peut être extrait d'une bactérie comme *Bacillus thuringiensis*. Pour ce faire, on utilise des enzymes de restriction, qui agissent comme des ciseaux moléculaires en coupant l'ADN à des endroits précis pour récupérer les fragments souhaités (Cooper, 2000).

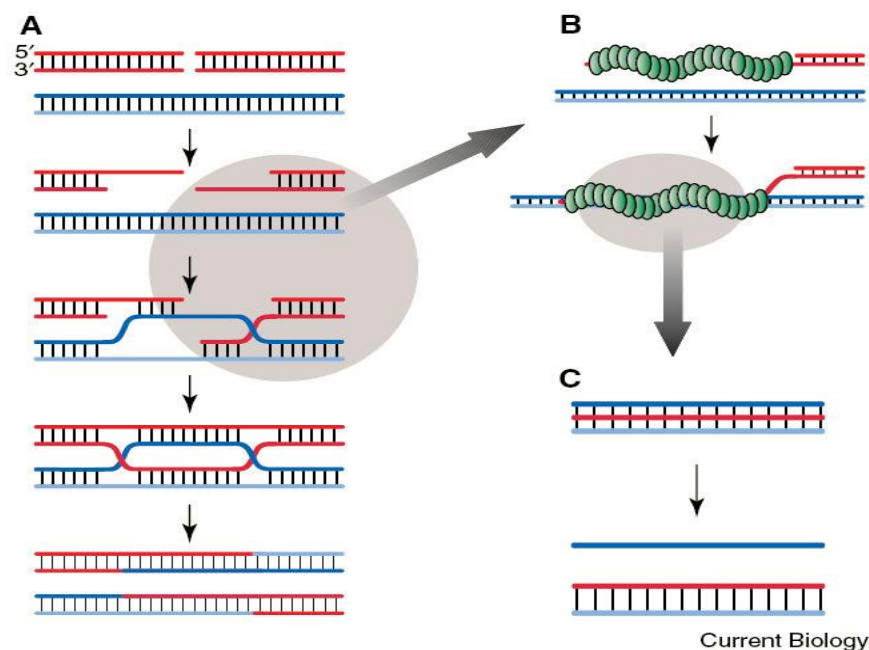


Figure 1 : Schéma d'une recombinaison donnant de l'ADN recombiné (Dupont, 2008).

- **Techniques de transfert direct**

a) Biolistique :

Cette méthode consiste à projeter directement le transgène dans les cellules végétales à l'aide de microbilles métalliques recouvertes d'ADN, généralement en tungstène. Ces microbilles sont propulsées à grande vitesse vers les cellules cibles (voir Figure 2). L'inconvénient principal est que l'intégration de l'ADN dans la cellule se fait de manière aléatoire. Cette technique est utilisée pour transformer des plantes comme le coton, la tomate ou le blé (*MOUBRI, 2016*).

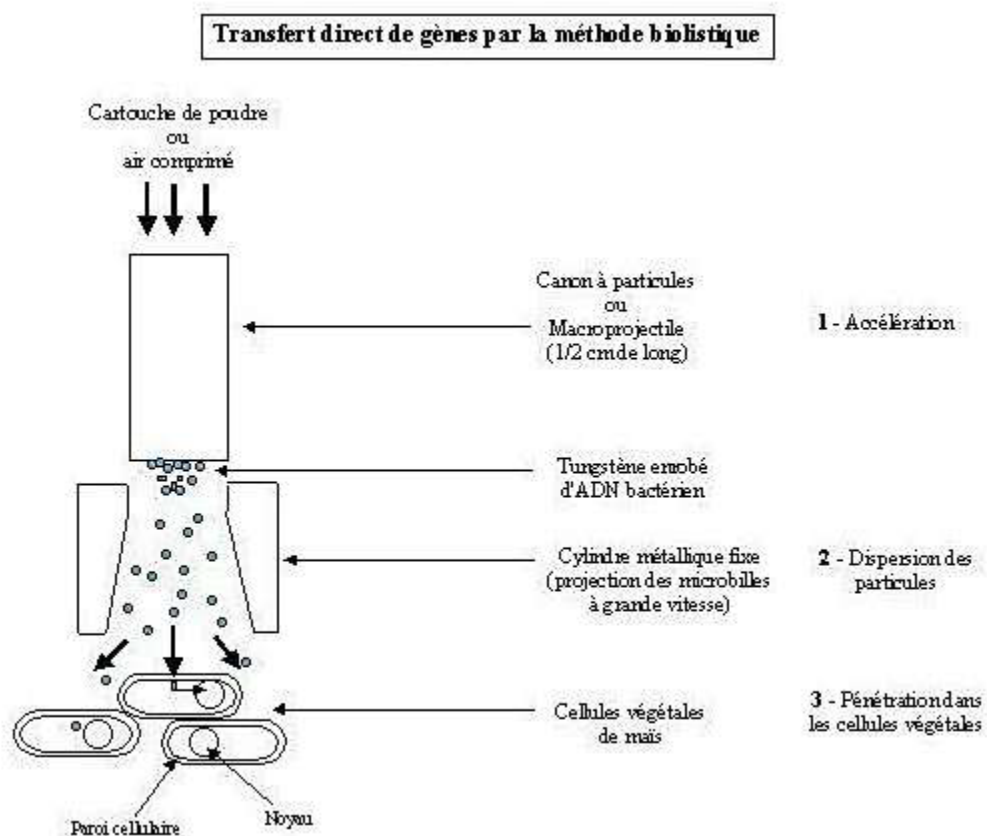


Figure 2 : : La technique de la Biolistique 4 (Aubert, 2000)

b) Micro-injection :

Cette technique consiste à injecter directement le gène étranger dans la cellule hôte à l'aide d'un micromanipulateur équipé d'un microscope. Le gène, accompagné de ses séquences régulatrices (promoteur et terminateur), est introduit

dans le noyau via une micropipette, modifiant ainsi la cellule. Elle est employée notamment pour le tournesol, le colza ou la pomme de terre (MOUBRI, 2016).

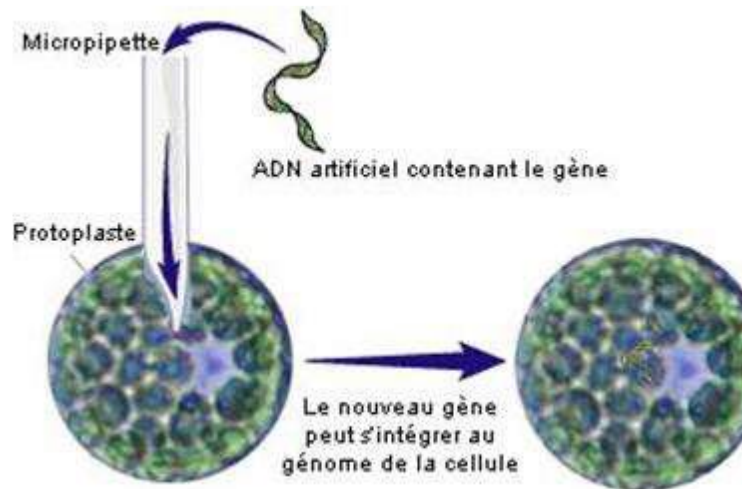


Figure 3 : Schéma récapitulatif de la micro-injection (Binet, 2002).

c) Transfection chimique ou biologique :

Ici, le gène d'intérêt est encapsulé dans des liposomes capables de fusionner avec la membrane des protoplastes (cellules végétales sans paroi). Cette fusion libère le gène dans le cytoplasme. Cependant, cette méthode est peu utilisée car peu de gènes atteignent le noyau et s'intègrent au génome (MOUBRI, 2016).

d) Électroporation :

Cette technique soumet un mélange d'ADN et de protoplastes à un champ électrique. Ce choc provoque une perméabilisation temporaire de la membrane plasmique, ouvrant des pores qui facilitent le passage de l'ADN dans la cellule (voir Figure 4). Il est crucial que l'intensité du choc soit contrôlée pour ne pas endommager la cellule. Cette méthode est utilisée sur des cultures comme le riz, le maïs ou l'orge (MOUBRI, 2016).

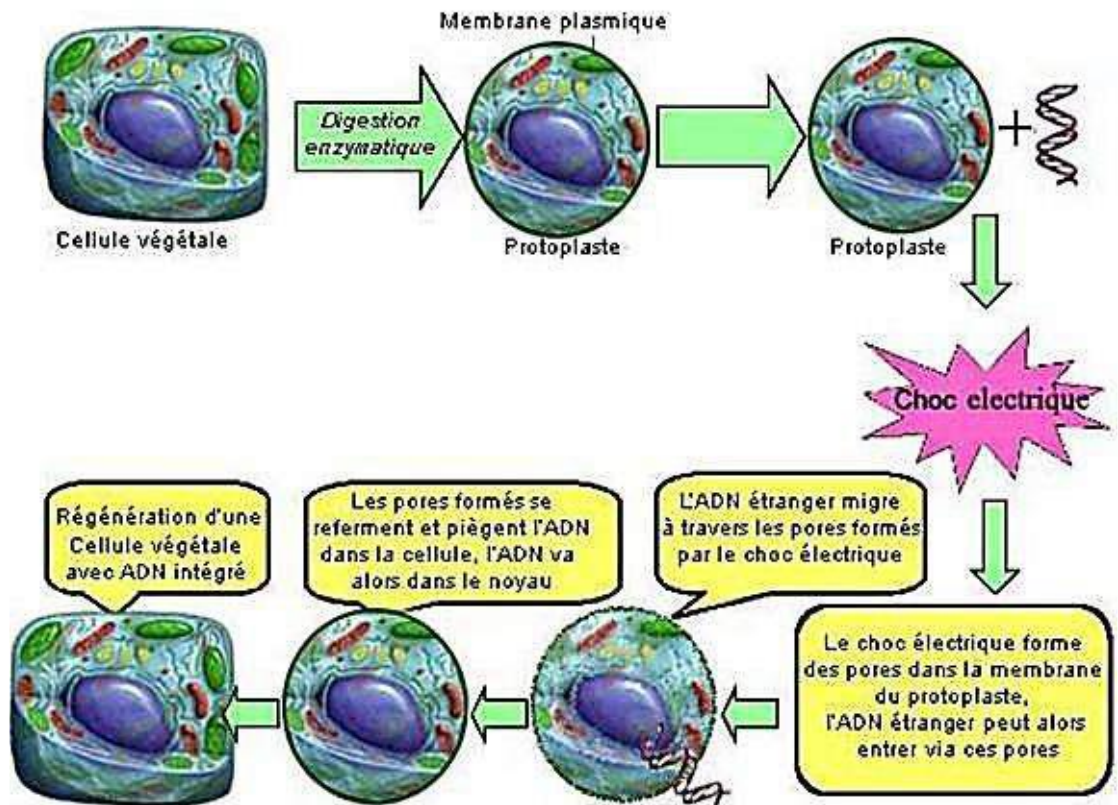


Figure 4 : :La technique de L'électroporation (Binet, 2002).

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

Le génie génétique trouve de nombreuses applications dans le domaine de l'alimentation, offrant des solutions innovantes pour améliorer la production agricole, la qualité nutritionnelle des aliments et la durabilité des systèmes alimentaires. Il permet notamment de développer des cultures génétiquement modifiées qui résistent mieux aux maladies, aux insectes et aux conditions environnementales difficiles, comme la sécheresse ou les sols pauvres. Ces améliorations contribuent à augmenter les rendements agricoles, ce qui est essentiel pour nourrir une population mondiale en croissance, surtout lorsque l'expansion des surfaces cultivables est limitée. Par exemple, des variétés de riz enrichies en provitamine A, comme le riz doré, ont été créées pour lutter contre les carences nutritionnelles dans certains pays.

Le génie génétique facilite également la production d'aliments plus nutritifs, en modifiant la teneur en vitamines, acides gras ou amidon, ce qui améliore leur valeur alimentaire et leurs propriétés technologiques. Par ailleurs, des micro-organismes génétiquement modifiés sont utilisés pour produire des enzymes qui

optimisent la transformation des aliments, comme dans la fabrication du fromage ou du pain (Bawa, et al., 2013).

Sur le plan environnemental, ces technologies permettent de réduire l'usage des pesticides et herbicides grâce à des plantes résistantes, ce qui diminue l'impact écologique de l'agriculture. Elles favorisent aussi la durabilité des cultures et la sécurité alimentaire, notamment dans les pays en développement où les pertes liées aux maladies ou aux stress abiotiques sont particulièrement élevées.

Enfin, le génie génétique ouvre la voie à la production de substances à usage thérapeutique via des plantes modifiées, ainsi qu'à l'amélioration de la santé animale par le développement de vaccins innovants. Ces avancées contribuent à une agriculture plus efficace, plus respectueuse de l'environnement et capable de répondre aux défis alimentaires mondiaux (FAO, 2018).

3 Les organismes génétiquement modifiés (OGM)

3.1. Historique

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

Les premières bactéries transgéniques ont été créées dans les années 1970. En 1973, un gène provenant d'un amphibien africain a été inséré pour la première fois dans l'ADN d'une bactérie, marquant ainsi une étape majeure dans l'histoire du génie génétique. Quelques années plus tard, en 1978, un gène humain codant pour l'insuline a été introduit dans la bactérie *Escherichia coli*, permettant à cette dernière de produire de l'insuline humaine. Cette avancée a conduit, en 1983, à l'autorisation au Canada de la production commerciale d'insuline issue de bactéries génétiquement modifiées. Aujourd'hui, cette insuline recombinante est largement utilisée pour traiter le diabète. Il est important de noter que la souche de *E. coli* utilisée dans ce procédé n'est pas celle responsable de la maladie dite du hamburger (*E. coli* O157:H7), mais une souche inoffensive spécialement sélectionnée pour la production industrielle (Government du Québec, 2021).

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

La méthode la plus couramment employée pour réaliser une transgénèse chez les végétaux repose sur le transfert du gène d'intérêt via une bactérie du sol appelée *Agrobacterium tumefaciens*. Cette bactérie sert de vecteur naturel pour introduire le gène ciblé. C'est dans les années 1980 que les chercheurs ont découvert comment *Agrobacterium* est capable d'intégrer son ADN dans le génome de certaines plantes. Cette découverte a ouvert de nouvelles perspectives de recherche, notamment sur la possibilité d'exploiter cette capacité pour la transgénèse. Ainsi, des scientifiques de l'Université de Gand en Belgique ont mis au point des souches bactériennes modifiées, capables d'insérer un gène spécifique dans l'ADN des plantes (Brassart, 2003).

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

Les années 1990 ont été marquées par l'approbation des organismes génétiquement modifiés (OGM) au Canada, notamment dans le secteur agricole. C'est durant cette période que les principales plantes génétiquement modifiées cultivées aujourd'hui, telles que le canola, le maïs et le soja, ont reçu leur autorisation. Par ailleurs, en 1990, une enzyme appelée chymosine, utilisée pour faire cailler le lait, a également été approuvée ; elle est produite à partir d'une bactérie génétiquement modifiée.

L'arrivée des OGM et de la transgénèse soulève cependant des questions importantes. Selon les points de vue, la transgénèse peut être considérée comme une méthode scientifique parmi d'autres, comparable aux techniques traditionnelles de sélection. D'un autre côté, elle représente une rupture majeure dans la manipulation du vivant, car elle permet notamment de franchir la barrière des espèces, ce qui pose des interrogations d'ordre culturel, éthique et spirituel sur la définition même de la vie et de l'être humain. Ces débats reflètent les enjeux complexes et multidimensionnels liés à l'utilisation des biotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation (Halley, 2013).

3.2. Définition d'organismes génétiquement modifiés

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), les organismes génétiquement modifiés (OGM) désignent des organismes - qu'il s'agisse de plantes,

d'animaux ou de micro-organismes - dont le matériel génétique (ADN) a été modifié d'une manière qui ne se produit pas naturellement par reproduction ou recombinaison naturelle.

Cette technologie est souvent appelée « biotechnologie moderne », « technologie génétique », « technique de recombinaison de l'ADN » ou encore « génie génétique ». Bien que les termes « génétiquement modifié » et « issu du génie génétique » soient fréquemment employés comme synonymes dans le discours public, ils ont des nuances différentes qui prennent toute leur importance dans les débats autour de l'utilisation des OGM en agriculture (Flores, 2019).

Les modifications génétiques peuvent se présenter sous trois formes principales : l'ajout, la suppression ou le remplacement d'un ou plusieurs gènes. L'objectif est d'introduire dans la cellule d'un organisme receveur un ou plusieurs gènes provenant d'un autre organisme, même si celui-ci n'appartient pas à la même espèce. Cette opération, appelée transgénèse, regroupe l'ensemble des techniques visant à insérer de manière stable un gène étranger dans le génome - c'est-à-dire l'intégralité du patrimoine génétique - d'un organisme hôte.

Les partisans des cultures transgéniques utilisent parfois le terme « cultures biotechnologiques », un vocabulaire moins polémique mais qui peut prêter à confusion.

Les techniques de transgénèse sont essentielles pour approfondir nos connaissances en génétique physiologique et biologique. Toutefois, elles restent associées à un certain manque de contrôle quant aux effets potentiels sur l'organisme hôte.

Selon le Conseil Européen de l'Information sur l'Alimentation, les premières générations d'OGM ont principalement été développées pour améliorer les caractéristiques agronomiques des plantes, dans l'intérêt des agriculteurs, notamment en renforçant la résistance aux herbicides, aux insectes, aux maladies et à la sécheresse. Les générations suivantes ont permis d'obtenir des bénéfices plus directs pour les consommateurs, tels qu'une meilleure qualité des aliments et une biodisponibilité accrue des nutriments.

- **La transgénèse**

La transgénèse est une technique de génie génétique qui consiste à insérer un ou plusieurs gènes étrangers de manière stable dans le génome d'un organisme vivant, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux ou de micro-organismes. Ce gène introduit, appelé transgène, peut provenir d'une espèce différente, voire d'une source synthétique, ce qui permet de franchir les barrières naturelles de reproduction entre espèces.

Cette méthode est largement utilisée pour étudier la fonction des gènes, mais aussi pour développer des organismes génétiquement modifiés (OGM) présentant des caractéristiques améliorées, telles que la résistance aux parasites, aux maladies ou aux conditions environnementales difficiles, ainsi que l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments.

La transgénèse peut être réalisée par plusieurs techniques, notamment l'utilisation de vecteurs biologiques comme la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* pour les plantes, la projection de microbilles d'ADN (biolistique), la micro-injection directe ou encore l'électroporation. Après l'introduction du transgène, les cellules transformées sont sélectionnées et régénérées pour obtenir un organisme entier exprimant le nouveau caractère.

Par rapport aux méthodes classiques d'amélioration génétique, la transgénèse offre l'avantage d'introduire rapidement un caractère précis, sans les croisements multiples nécessaires auparavant, et permet d'incorporer des gènes issus d'organismes très éloignés sur le plan évolutif. Cependant, cette technique nécessite l'identification et le clonage préalable des gènes d'intérêt et ne permet généralement d'introduire qu'un nombre limité de gènes à la fois (Shakweer, 2023).

4.1. Les cinq catégories de gène en cause

4.1.1. La résistance aux insectes

Les plantes génétiquement modifiées résistantes aux insectes tirent leur résistance de gènes codant une forme tronquée d'endotoxines protéiques produites par certaines souches de la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt). Naturellement, de

nombreuses variantes de ces toxines existent, chacune ciblant spécifiquement différentes espèces d'insectes. Les plantes transgéniques portent souvent des gènes de type cry1(A), dont les protéines sont toxiques pour des lépidoptères comme la pyrale du maïs.

Depuis près de quarante ans, des suspensions de bactéries produisant ces toxines Cry1A sont utilisées comme pesticides, aussi bien en serre qu'en plein champ, sans qu'aucun effet indésirable n'ait été observé chez les personnes manipulant ces produits ou consommant les aliments traités. Ces pulvérisations sont même autorisées dans l'agriculture biologique, bien que les producteurs bio s'inquiètent aujourd'hui de l'apparition possible de résistances chez les insectes ciblés.

Cependant, l'exposition continue des insectes à ces toxines a conduit à l'émergence de populations résistantes dans plusieurs régions du monde. Par exemple, certaines populations de pyrales du maïs ont développé une résistance à toutes les toxines Bt utilisées, compromettant l'efficacité des cultures Bt. Ce phénomène de résistance est un enjeu majeur qui pousse les chercheurs à explorer des stratégies combinées, comme l'utilisation de plusieurs gènes Bt ou d'autres technologies innovantes, afin de préserver l'efficacité de ces cultures transgéniques.

Malgré ces défis, les cultures Bt ont permis de réduire significativement l'usage d'insecticides chimiques, limitant ainsi les impacts environnementaux et les risques pour les insectes non ciblés, les animaux et les humains. Des études montrent que les protéines Cry produites par ces plantes ont une toxicité spécifique aux insectes ravageurs, avec peu d'effets secondaires sur les insectes bénéfiques ou les organismes du sol (Chappelle, 2009).

4.1.2. Les gènes conférant une résistance à certains herbicides

Les gènes conférant une résistance à certains herbicides sont largement employés pour permettre aux plantes cultivées de tolérer des herbicides totaux, tels que le glyphosate ou le glufosinate. Ces herbicides détruisent les mauvaises herbes mais n'affectent pas les plantes porteuses des gènes de tolérance, ce qui facilite le désherbage tout en protégeant la culture. Cette tolérance est généralement obtenue soit par une surproduction de l'enzyme ciblée par l'herbicide, soit par la modification de cette enzyme pour la rendre insensible au produit. Ces gènes sont insérés dans diverses cultures comme le canola, le maïs, le soja, le coton ou la betterave.

Cependant, leur utilisation intensive a conduit au développement de mauvaises herbes résistantes, ce qui pose des défis pour la gestion durable des herbicides. De plus, la dissémination du transgène via le pollen peut entraîner la propagation de cette tolérance à des plantes sauvages apparentées.

4.1.3. Les gènes marqueurs codant une résistance aux antibiotiques

Les gènes marqueurs codant une résistance aux antibiotiques sont principalement utilisés en laboratoire pour sélectionner les cellules végétales qui ont intégré le transgène. Ces gènes permettent aux cellules transformées de survivre en présence d'un antibiotique spécifique, facilitant ainsi leur identification. Toutefois, leur usage est de plus en plus limité en raison des préoccupations liées à la dissémination potentielle de résistances aux antibiotiques dans l'environnement.

4.1.4. Gènes entraînant la stérilité du mâle

Les gènes entraînant la stérilité du mâle sont utilisés pour contrôler la reproduction des plantes, notamment dans la production de semences hybrides. Par exemple, le gène *barnase* code pour une enzyme qui détruit les cellules responsables du pollen, rendant ainsi la plante mâle stérile. Ce système est souvent combiné avec un gène *barstar* qui inhibe la *barnase* pour restaurer la fertilité dans les hybrides. Cette technologie permet de produire des semences homogènes et d'éviter le mélange génétique non désiré.

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

Les gènes servant à réduire d'autres gènes au silence utilisent des mécanismes d'interférence ARN (ARNi) pour bloquer l'expression de gènes spécifiques. Cette technique permet d'inhiber la production de protéines indésirables ou de conférer une résistance à certains virus en empêchant la réplication virale. Elle est utilisée pour améliorer la qualité des plantes ou leur résistance aux pathogènes sans introduire de nouveaux gènes codants (SharafAbdelgalil, 2004).

4 Les étapes de la transgénèse

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

La première étape consiste à identifier, chez une espèce donneuse, un caractère d'intérêt - tel que la résistance à certains insectes, maladies, herbicides ou une amélioration de la qualité nutritionnelle - que l'on souhaite transférer dans une plante receveuse. Le gène responsable de ce caractère peut provenir de n'importe quel organisme vivant, qu'il s'agisse d'une bactérie, d'une plante ou d'un animal, puisque le code génétique est universel. Ce gène est ensuite isolé de l'organisme donneur et inséré dans une construction génétique, qui inclut souvent un gène marqueur. Ce gène marqueur facilite la sélection des cellules ayant intégré le gène d'intérêt. Enfin, cette construction est clonée pour produire une quantité suffisante d'ADN en vue de son introduction dans les cellules végétales à transformer (Kowalczyk, et al., 2022).

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

Le transfert du gène d'intérêt dans les cellules végétales peut s'effectuer par deux grandes approches : la transformation biologique et le transfert direct.

- **Transformation biologique par *Agrobacterium tumefaciens***

La transformation biologique exploite la capacité naturelle d'une bactérie du sol, *Agrobacterium tumefaciens*, à transférer une partie de son ADN (appelé ADN-T) dans le génome des plantes. Cette bactérie est modifiée en laboratoire pour remplacer son ADN-T pathogène par une construction génétique contenant le gène d'intérêt, par exemple le gène Bt codant une protéine insecticide.

Pour réaliser la transformation, la bactérie porteuse du vecteur est mise en contact avec des cellules végétales préalablement blessées (explant). Lors de cette co-culture, *Agrobacterium* transfère le gène d'intérêt dans le génome des cellules végétales. Ces cellules sont ensuite cultivées sur un milieu sélectif contenant un antibiotique ou un herbicide, permettant de sélectionner uniquement celles qui ont intégré le transgène. Ces cellules transformées formeront des cals, qui seront régénérés en plantes entières exprimant le gène introduit.

Cette méthode est la plus utilisée pour transformer de nombreuses espèces végétales, notamment le colza, la tomate, le soja, la pomme de terre ou le tabac.

- **Transfert direct du gène d'intérêt dans les cellules végétales**

Le transfert direct consiste à introduire le gène d'intérêt sans vecteur

biologique, par des méthodes physiques. Deux techniques principales sont utilisées :

- **L'électroporation** : les cellules végétales et les plasmides contenant le gène Bt sont placés dans une cuve où un champ électrique est appliqué. Ce choc crée des pores temporaires dans la membrane cellulaire, permettant au plasmide d'entrer dans la cellule et au gène Bt de s'intégrer dans le génome.

Le canon à particules (biolistique) : le gène Bt est fixé sur de très petites billes de tungstène ou d'or, qui sont projetées à grande vitesse dans les cellules végétales à l'aide d'un canon à particules. Les microbilles pénètrent dans les cellules, libérant le gène d'intérêt qui peut ensuite s'intégrer dans le génome.

Etape 3 : Régénérer et évaluer les plantes transformées

Après avoir sélectionné les cellules ayant intégré le transgène, il est nécessaire de régénérer des plantes entières à partir de ces cellules transformées. Ces cellules se développent d'abord en cals, qui sont de larges amas de cellules indifférenciées. Au bout de quelques semaines, des pousses commencent à apparaître. Ces pousses sont ensuite transférées dans un milieu de culture spécifique favorisant le développement des racines. Une fois que les racines sont suffisamment formées, les jeunes plants sont repiqués en pots et acclimatés en serre pour poursuivre leur croissance.

La régénération in vitro des cellules transformées est une étape complexe qui demande un contrôle rigoureux. Le choix du génotype, du type de tissu utilisé et des conditions de culture est crucial, car ils influencent fortement la capacité des cellules à se régénérer en plantes complètes.

Une fois les plantes régénérées, elles font l'objet d'analyses approfondies à plusieurs niveaux :

- **Moléculaire** : pour déterminer le nombre de copies du transgène inséré et mesurer l'intensité de son expression.
- **Biochimique** : pour vérifier la présence de la protéine codée par le transgène ainsi que son activité fonctionnelle.

- **Physiologique** : pour observer la morphologie générale, la croissance, la photosynthèse et la capacité de reproduction des plantes.
- **Agronomique** : pour évaluer leur comportement en conditions de culture en champ et mesurer des paramètres agronomiques clés.
- **Écologique** : pour étudier les éventuels impacts des plantes transgéniques sur l'environnement.

Etape 4 : Incorporer dans une variété commerciale

Les plantes transformées obtenues sont ensuite soumises à des croisements contrôlés afin d'étudier comment le nouveau caractère se transmet à leur descendance. Étant donné que les étapes de transformation et de régénération sont complexes, le génotype initialement choisi facilite ces processus. C'est pourquoi, pour intégrer le gène d'intérêt dans des variétés élitaires adaptées à la production agricole, les plantes modifiées sont soumises à plusieurs cycles de rétrocroisements. Cette démarche permet d'obtenir de nouvelles variétés commerciales qui expriment de manière stable le caractère souhaité (Chassériaud, 2017).

5 Variétés d'organismes génétiquement modifiés

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) regroupent une grande diversité d'espèces dont le matériel génétique a été modifié artificiellement. Parmi eux, les plantes transgéniques dominent largement les cultures commerciales. En effet, quatre espèces représentent environ 99 % des surfaces cultivées en OGM dans le monde : le coton, le soja, le maïs et le colza. Ces plantes ont été modifiées pour conférer des caractères tels que la résistance aux herbicides, aux insectes ou l'amélioration de la qualité nutritionnelle (Hurel, 2020).

5.1. Animaux transgéniques

Les animaux transgéniques sont des organismes dont le matériel génétique a été modifié par l'introduction de gènes étrangers, dans le but d'étudier des fonctions biologiques, de modéliser des maladies humaines ou de produire des protéines d'intérêt pharmaceutique. Ces animaux peuvent produire, par exemple, des protéines

recombinantes dans leur lait ou leur sang, utilisées pour des traitements médicaux (FAO, 2002).

Les applications des animaux génétiquement modifiés sont variées. Elles incluent l'amélioration de la production animale, comme l'accélération de la croissance grâce à l'introduction du gène de l'hormone de croissance dans des poissons (saumon, carpe, tilapia), l'augmentation de la résistance aux maladies, ou l'adaptation à des conditions environnementales difficiles, comme la tolérance au froid. D'autres modifications visent à améliorer la qualité nutritionnelle des produits animaux, par exemple en réduisant la teneur en lactose du lait, ou à supprimer des allergènes alimentaires. Certains animaux transgéniques sont également développés pour des usages industriels, comme la production de soie d'araignée dans le lait de chèvre, ou pour des applications environnementales, comme des poissons fluorescents utilisés comme indicateurs biologiques.

En recherche biomédicale, des millions d'animaux transgéniques, principalement des rongeurs, sont utilisés pour étudier les mécanismes génétiques et tester des traitements. Ces animaux permettent de mieux comprendre les maladies humaines et de développer de nouveaux médicaments.

Sur le plan commercial, peu d'animaux transgéniques sont actuellement autorisés à la consommation. Le saumon transgénique AquAdvantage, modifié pour croître plus rapidement, est l'un des rares exemples commercialisés, notamment au Canada. Par ailleurs, des moustiques génétiquement modifiés sont utilisés dans des programmes de lutte contre des maladies vectorielles comme la dengue ou le chikungunya.

Les techniques récentes, notamment CRISPR-Cas9, ont accéléré le développement d'animaux génétiquement modifiés avec des modifications plus précises, ouvrant la voie à de nombreuses applications en élevage, santé et environnement (Van Eenennaam, 2018).

5.2. Plantes transgéniques

Les plantes transgéniques sont des variétés végétales dont le génome a été modifié par l'introduction de gènes étrangers afin de leur conférer des caractéristiques nouvelles ou améliorées. Parmi les espèces les plus couramment modifiées figurent le

maïs, le soja, le coton, le colza, la betterave sucrière, la pomme de terre, la tomate et le melon. Ces modifications génétiques visent principalement à améliorer la résistance aux insectes ravageurs, aux herbicides, ou à retarder la maturation des fruits pour améliorer leur saveur, leur conservation et leur transport. Par exemple, le melon transgénique développé en France présente une maturation retardée grâce à l'inhibition partielle de la synthèse d'éthylène, hormone responsable de ce processus (Caboche, 2001).

Les plantes résistantes aux herbicides, comme le soja ou le maïs Roundup Ready, tolèrent des herbicides totaux tels que le glyphosate, ce qui facilite le désherbage. Cependant, cette tolérance peut poser des problèmes environnementaux lorsque le gène de résistance se transmet à des mauvaises herbes, rendant leur contrôle plus difficile. En matière de résistance aux ravageurs, des gènes issus de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt) sont introduits dans des plantes comme le maïs, le coton ou la pomme de terre. Ces gènes codent pour des endotoxines protéiques toxiques pour certains insectes nuisibles, réduisant ainsi le recours aux pesticides chimiques.

La transformation génétique est souvent réalisée grâce à la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*, qui transfère naturellement une partie de son ADN dans le génome des plantes. Cette méthode, appelée transformation biologique, est largement utilisée pour introduire les gènes d'intérêt dans des espèces telles que le colza, la tomate, le coton ou le riz. Après transformation, les cellules végétales modifiées sont sélectionnées puis régénérées en plantes entières, qui sont ensuite évaluées pour leur expression génétique, leur croissance et leur comportement agronomique (Faye, et al., 2008).

Les plantes transgéniques sont cultivées à grande échelle, notamment en Amérique, où elles représentent une part importante des cultures de maïs, soja, coton et colza. Elles contribuent à augmenter les rendements agricoles, réduire l'utilisation d'intrants chimiques et améliorer la qualité des produits. Toutefois, leur utilisation soulève des questions environnementales, économiques et sociétales, notamment en ce qui concerne la dissémination des transgènes dans les écosystèmes et les impacts à long terme (Caboche, 2001).

5.3. Bactéries transgéniques

Les bactéries transgéniques sont des micro-organismes dont le matériel génétique a été modifié pour produire des protéines ou des molécules d'intérêt industriel, pharmaceutique ou environnemental. Elles sont largement utilisées dans l'industrie pour la production à grande échelle de protéines humaines, telles que l'insuline, les facteurs de coagulation, l'hormone de croissance, l'interféron ou encore l'érythropoïétine, qui sont difficiles à obtenir par des méthodes naturelles et présentent un risque réduit de contamination par des agents pathogènes.

Au-delà du secteur médical, les bactéries génétiquement modifiées sont exploitées pour la production de biocarburants, notamment par la conversion de sucres en hydrocarbures comme l'isobutène, offrant une alternative renouvelable aux carburants fossiles. Elles jouent également un rôle important dans la bioremédiation, où elles sont conçues pour dégrader ou transformer des polluants toxiques tels que le mercure, le cuivre ou l'arsenic, contribuant ainsi à la dépollution des sols et des eaux.

Par ailleurs, les bactéries transgéniques sont utilisées dans des domaines innovants comme le bio-art, où des séquences d'ADN codant des motifs visuels sont exprimées dans des bactéries pour créer des œuvres artistiques.

La production industrielle par ces bactéries repose sur la culture en grand volume suivie de l'activation contrôlée du gène d'intérêt, puis de la récolte et de la purification de la protéine produite. En raison des coûts élevés liés à l'extraction et à la purification, seuls des produits à haute valeur ajoutée sont généralement fabriqués à cette échelle.

Ainsi, les bactéries transgéniques représentent un outil clé dans la biotechnologie moderne, avec des applications majeures en santé, industrie, environnement et recherche (Bermúdez-Humarán, 2009).

Chapitre 2 Aliments

Génétiquement Modifiés

Chapitre II : Aliments Génétiquement Modifiés

1. Définition

Les aliments génétiquement modifiés (GM) sont issus de cultures, d'animaux ou de micro-organismes dont le matériel génétique a été modifié grâce aux techniques de l'ADN recombinant, dans le but de leur conférer des caractéristiques spécifiques. Ces techniques consistent à combiner des gènes provenant de différents organismes, parfois même d'espèces différentes. L'organisme ainsi obtenu est qualifié de « génétiquement modifié » ou « transgénique ». Pour cela, un gène porteur d'un caractère souhaité est isolé à partir d'un organisme donneur - qu'il s'agisse d'une bactérie, d'un virus, d'un animal ou d'une plante - puis introduit dans la plante ou l'animal receveur. Les aliments GM sont donc produits à partir de ces organismes modifiés. Aujourd'hui, les produits issus de la génétique recombinante ne se limitent pas aux aliments, mais englobent également des produits bénéfiques tels que des médicaments (par exemple, l'insuline), des vaccins, des aliments destinés à l'alimentation animale, ainsi que des fibres (Turcotte-Tremblay, 2014).

2. Recherches dans le domaine des aliments fonctionnels génétiquement modifiés

Les recherches dans le domaine des aliments fonctionnels génétiquement modifiés visent à développer des cultures dont les propriétés nutritionnelles et physiologiques sont améliorées pour bénéficier directement à la santé des consommateurs. Ces aliments, issus de la deuxième génération de biotechnologies appliquées à l'agriculture, intègrent des gènes spécifiques permettant d'augmenter la teneur en vitamines, protéines, lipides ou autres micro-constituants essentiels, tout en éliminant des composés indésirables ou anti-nutritifs.

Parmi les exemples, on trouve des plantes modifiées pour réduire le brunissement des pommes de terre, diminuer la teneur en nitrates dans les feuilles de laitue ou d'épinards, ou encore enrichir l'huile de caméline en acide eicosapentaénoïque (EPA), un acide gras bénéfique. Le riz doré, enrichi en vitamine A, est un autre exemple emblématique, développé pour lutter contre les carences nutritionnelles dans les pays en développement.

Ces recherches s'inscrivent dans une perspective d'amélioration qualitative des aliments, visant à prévenir certaines maladies et à améliorer la qualité de vie. Cependant, elles suscitent également des débats, notamment en Europe, où la controverse autour des OGM est alimentée par des préoccupations sanitaires, environnementales et éthiques. Par conséquent, des réglementations strictes, incluant l'étiquetage obligatoire des produits contenant des OGM, ont été mises en place pour assurer la transparence et la sécurité alimentaire.

En parallèle, des travaux sont en cours pour développer des plantes génétiquement modifiées sans gènes marqueurs de résistance aux antibiotiques, afin de limiter les risques liés à la dissémination de ces gènes dans l'environnement.

3. Les aliments d'origine végétale

3.1. Exemples de produits végétaux transgéniques actuellement en développement

a) Modification de caractères agronomiques

Parmi les produits végétaux transgéniques en cours de développement, plusieurs visent à améliorer des caractères agronomiques essentiels. Par exemple, la tolérance à certains herbicides est introduite dans des cultures telles que la betterave sucrière, le blé, la luzerne, la canne à sucre, la pomme de terre, ainsi que dans des végétaux forestiers et autres espèces.

Par ailleurs, la résistance aux insectes est incorporée dans des plantes comme la tomate, la canne à sucre, le soja, le colza, l'arachide, l'aubergine et le peuplier. Cette résistance repose notamment sur l'utilisation de différentes toxines issues de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt), avec le développement de nouvelles toxines pour limiter les risques liés à l'apparition d'une résistance des insectes aux toxines Bt classiques.

La résistance aux maladies provoquées par des virus, champignons ou bactéries est également un objectif, avec des applications dans le maïs, la pomme de terre et d'autres cultures (Mirko, et al., 2009).

Enfin, des gènes codant pour d'autres traits agronomiques sont introduits afin d'améliorer la tolérance au stress abiotique, comme la sécheresse ou le froid,

d'augmenter l'efficacité de la photosynthèse, d'optimiser l'utilisation de l'azote ou encore de permettre la croissance dans des sols salins.

Ces avancées, soutenues par les nouvelles techniques de sélection et d'édition génomique, visent à répondre aux défis agricoles actuels, notamment ceux liés au changement climatique, tout en améliorant la productivité et la durabilité des cultures (Bertea, et al., 2015).

B) Modification des caractéristiques alimentaires

- Huile de canola ou de soja avec une teneur réduite en acides gras saturés.
- Canola enrichi en bêta-carotène, un puissant antioxydant.
- Tomate présentant un niveau élevé de lycopène, reconnu pour ses propriétés anticancéreuses.
- Céréales optimisées pour un profil équilibré en acides aminés essentiels.
- Riz enrichi en fer pour lutter contre les carences nutritionnelles.
- Betterave sucrière produisant un sucre à faible teneur calorique.
- Maïs et fraises modifiés pour contenir une concentration accrue en sucres, améliorant ainsi leur saveur.
- Tomates et pommes de terre à texture plus ferme, améliorant leur conservation et résistance au transport.
- Melons, fraises, framboises et cantaloups dont le mûrissement est retardé pour prolonger la durée de vie après récolte.
- Modification du taux de gluten dans le blé afin d'adapter ses propriétés de cuisson.
- Café naturellement décaféiné, sans recours à des procédés chimiques.

c) Agriculture moléculaire végétale

Cette approche consiste à utiliser les plantes comme bioréacteurs pour produire des molécules complexes que les bactéries ne peuvent pas synthétiser efficacement. Parmi les exemples concrets, on trouve :

- La production d'anticorps monoclonaux dans le maïs et la pomme de terre (projet MPB à Cologne, Allemagne).
- La synthèse d'hormone de croissance humaine dans les chloroplastes du tabac.
- La fabrication de protéines sanguines dans la pomme de terre.
- Le développement d'un vaccin contre la dysenterie dans la banane.
- La production d'un vaccin contre la rage dans le maïs (Mirko, et al., 2009).

3.2. Les cultures transgéniques à l'échelle mondiale

Les cultures transgéniques connaissent une expansion significative à l'échelle mondiale depuis leur introduction en 1996. En 2023, la superficie mondiale consacrée aux plantes génétiquement modifiées atteignait environ 206 millions d'hectares, marquant une croissance continue malgré un léger ralentissement ces dernières années. Cette expansion est particulièrement forte en Amérique du Sud, avec des pays comme le Brésil, l'Argentine et le Paraguay qui figurent parmi les plus grands producteurs. Les États-Unis restent le premier pays en termes de surface cultivée, suivis du Brésil, de l'Argentine, de l'Inde et du Canada.

Les cultures transgéniques représentent aujourd'hui près de 10 % des terres agricoles mondiales, bien que ce chiffre tombe à environ 3,4 % si l'on inclut les prairies permanentes utilisées pour l'alimentation animale. Les principales plantes modifiées sont le soja, le maïs, le coton et le colza, cultivés majoritairement pour la production animale et industrielle.

Depuis plus de vingt ans, la croissance des surfaces OGM a été rapide, avec des taux à deux chiffres pendant une grande partie de cette période. Cependant, cette progression tend à ralentir dans certains pays, notamment en Europe où la culture d'OGM reste très limitée, représentant moins de 0,1 % des surfaces agricoles de l'Union européenne. Plusieurs pays européens ont d'ailleurs interdit ou restreint fortement ces cultures.

Le marché mondial des semences transgéniques est en forte croissance, estimé à plus de 30 milliards de dollars en 2023, avec des prévisions de croissance annuelle d'environ 10 % pour atteindre près de 81 milliards de dollars d'ici 2033.

Cette expansion dépendra en partie de l'évolution des réglementations dans différents pays (CLOUTIER. 2006).

3.2.1. Les céréales transgéniques

Les céréales transgéniques occupent une place importante dans l'agriculture mondiale, avec des cultures telles que le maïs, le blé et le riz modifiées génétiquement pour améliorer leur rendement, leur résistance aux insectes, aux maladies et aux herbicides, ainsi que leur tolérance aux stress environnementaux. Le maïs transgénique est particulièrement répandu, notamment aux États-Unis, au Brésil et en Argentine, où il représente une part majeure des surfaces cultivées. Ces variétés intègrent souvent des gènes conférant une résistance aux insectes via les toxines Bt ou une tolérance aux herbicides, facilitant ainsi la gestion des cultures et réduisant l'usage de pesticides chimiques (Fortin, 2001).

Le blé transgénique est en développement dans plusieurs pays, avec des objectifs similaires, notamment l'amélioration de la résistance aux maladies fongiques et l'adaptation aux conditions climatiques difficiles. Le riz transgénique, quant à lui, vise principalement à améliorer la valeur nutritionnelle, comme le riz doré enrichi en vitamine A, ou à accroître la résistance aux stress biotiques et abiotiques.

Malgré ces avancées, la culture commerciale de céréales transgéniques reste concentrée dans un nombre limité de pays, en raison des réglementations strictes et des controverses liées à la sécurité et à l'impact environnemental des OGM. Cependant, la demande mondiale croissante en céréales, estimée à près de 2 870 millions de tonnes pour la campagne 2024-2025, encourage la poursuite des recherches et le développement de nouvelles variétés transgéniques adaptées aux défis agricoles actuels (Hisano, et al., 2021).

3.2.2. Les fruits et légumes

Les fruits et légumes génétiquement modifiés (GM) sont conçus pour offrir des avantages tels qu'une durée de conservation prolongée, une meilleure résistance aux maladies, une saveur améliorée ou des qualités nutritionnelles accrues. Parmi les exemples notables, la papaye arc-en-ciel, génétiquement modifiée pour résister à une maladie virale, a permis de sauver la production hawaïenne de papayes. D'autres

développements incluent la pomme Arctic, qui ne brunie pas après la coupe, et des fraises ou tomates modifiées pour améliorer leur goût ou leur teneur en sucres.

Cependant, la culture et l'importation de fruits et légumes GM restent strictement réglementées, notamment en Europe où aucune variété de fruits ou légumes GM n'est actuellement autorisée à la culture ou à l'importation. La France, par exemple, interdit toute culture commerciale de fruits et légumes GM depuis 2008 et applique des contrôles rigoureux pour assurer le respect de cette interdiction.

Par ailleurs, les nouvelles techniques d'édition génomique, comme CRISPR, permettent de modifier précisément certains gènes au sein des plantes sans introduire de gènes étrangers, ce qui ouvre la voie à des variétés améliorées tout en suscitant un débat réglementaire et éthique. Des entreprises comme Pairwise développent ainsi des fruits et légumes avec des caractéristiques gustatives ou agronomiques optimisées grâce à ces technologies (Baloglu, et al., 2022).

3.2.2.1. La banane génétiquement modifiée

La banane génétiquement modifiée représente une avancée majeure pour répondre aux défis agricoles et commerciaux auxquels cette culture est confrontée à l'échelle mondiale. Parmi les innovations récentes, une startup britannique, Tropicale, a développé des bananes modifiées par édition génomique CRISPR qui ne brunissent pas après avoir été coupées, grâce à la désactivation des gènes responsables de la production de l'enzyme polyphénol oxydase (PPO). Ces bananes conservent ainsi leur couleur et leur fraîcheur plus longtemps, sans altérer leur saveur ni leur texture, ce qui réduit considérablement le gaspillage alimentaire et ouvre de nouvelles opportunités pour la commercialisation de fruits coupés. Ces bananes ont déjà reçu des autorisations réglementaires dans plusieurs pays, dont les Philippines, la Colombie, le Honduras, les États-Unis et le Canada.

Par ailleurs, Tropicale travaille également sur des bananes résistantes à la fusariose tropicale race 4 (TR4), une maladie fongique dévastatrice qui menace la production mondiale de bananes, notamment la variété Cavendish. Cette résistance est obtenue via une technologie d'interférence ARN ciblant les gènes du champignon, une approche innovante qui n'est pas classée comme OGM, facilitant ainsi son acceptation réglementaire.

D'autres recherches, notamment à l'université KU Leuven, visent à développer des bananes génétiquement éditées pour résister aux stress climatiques, un enjeu crucial face au changement climatique qui fragilise les cultures clonales de bananes, très vulnérables aux maladies et aux conditions extrêmes (Gianluca, 2015).

3.2.2.2. La pomme de terre résistante au doryphore (coléoptère)

La pomme de terre résistante au doryphore est une variété transgénique intégrant le gène *cry3A* de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt), qui produit une toxine spécifique ciblant le système digestif du doryphore, principal ravageur des cultures, et provoquant sa mort, ce qui permet de réduire l'utilisation de pesticides chimiques. Commercialisée sous le nom NewLeaf entre 1995 et 2001, cette pomme de terre a été autorisée dans plusieurs pays et certaines lignées combinent également une résistance à des virus comme le virus de l'enroulement de la pomme de terre. La protéine Cry3A agit en perturbant les échanges ioniques dans l'intestin des insectes ciblés, sans danger pour les mammifères. Toutefois, une utilisation prolongée peut favoriser l'apparition de populations résistantes, soulignant l'importance d'une gestion intégrée des ravageurs. Parallèlement, des recherches sont en cours pour mieux comprendre la résistance du doryphore et développer des outils de détection génétique afin d'adapter les stratégies de protection. Cette variété illustre ainsi une application concrète de la biotechnologie visant à protéger les cultures tout en réduisant l'usage des pesticides, avec une nécessité de gestion prudente pour garantir son efficacité durable (Cloutier, et al., 2008).

4. Animaux génétiquement modifiés

4.1. La consommation des animaux transgéniques

Les animaux génétiquement modifiés (AGM) sont des organismes dont le génome a été modifié par des techniques de génie génétique afin d'introduire des caractères nouveaux ou améliorés. Ces modifications peuvent viser des applications variées, allant de la recherche biomédicale à la production de protéines thérapeutiques, en passant par l'amélioration de la productivité ou de la résistance aux maladies dans l'élevage. En Europe, la production, la dissémination et la commercialisation des AGM sont strictement encadrées par un ensemble de règlements et directives visant à protéger la santé humaine, animale et

l'environnement, tout en assurant la transparence et la traçabilité des produits issus de ces animaux.

4.2. Les règles de dissémination des animaux transgéniques

La dissémination volontaire d'animaux génétiquement modifiés dans l'environnement est soumise à une procédure d'autorisation préalable définie par la directive 2001/18/CE modifiée, ainsi que par le règlement (CE) n°1829/2003. Cette procédure impose une évaluation au cas par cas des risques potentiels pour la santé humaine, animale et l'environnement, réalisée par l'EFSA.

Les demandes d'autorisation doivent inclure des données scientifiques détaillées sur la nature de la modification génétique, les caractéristiques de l'animal, les mesures de confinement envisagées, ainsi que les plans de surveillance post-commercialisation.

Des mesures spécifiques de confinement et de gestion des risques sont exigées pour éviter la dissémination incontrôlée des gènes modifiés, telles que des zones tampons, des restrictions géographiques, des contrôles sanitaires et des obligations d'information des parties prenantes.

Au niveau national, les autorités compétentes, comme le ministère de l'Environnement ou de l'Agriculture, délivrent les autorisations après consultation des organismes sanitaires et environnementaux, et assurent un suivi régulier.

Enfin, la transparence est renforcée par une consultation publique obligatoire avant toute autorisation, ainsi que par la publication régulière de rapports sur les expériences liées à la dissémination des AGM (MTE, 2024).

5. Les microorganismes d'intérêt alimentaire

Les microorganismes d'intérêt alimentaire, tels que les bactéries et levures génétiquement modifiés, sont utilisés pour améliorer la production, la qualité et la valeur nutritionnelle des aliments, notamment dans la fabrication de produits fermentés comme les fromages, yaourts ou pains. Grâce aux techniques de génie génétique, ces micro-organismes peuvent être optimisés pour accroître leur résistance aux stress, produire des enzymes, vitamines, protéines spécifiques ou additifs bénéfiques, contribuant ainsi au développement d'aliments fonctionnels destinés à améliorer la santé. Cependant, leur utilisation suscite des débats, notamment en

Europe, où une réglementation stricte impose une séparation claire entre produits contenant ou non des OGM, avec une obligation d'étiquetage pour garantir la transparence. Des recherches sont également menées pour évaluer les risques liés à la dissémination de gènes modifiés, notamment ceux liés à la résistance aux antibiotiques, afin d'assurer la sécurité alimentaire et environnementale. Ainsi, ces microorganismes génétiquement modifiés représentent une avancée majeure pour l'industrie agroalimentaire, alliant innovation et nécessité d'un encadrement rigoureux pour protéger la santé publique et l'environnement (MTE, 2024).

6 L'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés

L'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés (OGM) s'inscrit dans une longue histoire d'amélioration génétique, qui remonte à des milliers d'années avec la sélection traditionnelle, mais qui a connu une révolution majeure à partir des années 1970 avec l'avènement des techniques de génie génétique. La première transgénèse réussie date de 1973, lorsqu'un gène d'amphibien a été inséré dans une bactérie, ouvrant la voie à la modification directe du génome d'organismes vivants. Dans les années 1980, la découverte du rôle de la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* comme vecteur naturel a permis le développement des premières plantes transgéniques, notamment le tabac, puis rapidement des cultures agricoles comme le maïs, le soja et le colza.

Les années 1990 marquent le début de la commercialisation des premiers OGM agricoles, avec notamment la mise sur le marché de variétés résistantes aux herbicides (comme le soja Roundup Ready) ou aux insectes (maïs Bt), qui ont transformé les pratiques agricoles en facilitant le désherbage et la lutte contre les ravageurs. Cependant, cette évolution a suscité de vives controverses sociales, économiques et environnementales, notamment autour de la dépendance des agriculteurs aux semences brevetées et aux herbicides associés, ainsi que des risques liés à la dissémination des gènes modifiés dans l'environnement.

Au fil des décennies, les techniques se sont affinées, avec l'émergence récente des outils d'édition génomique comme CRISPR-Cas9, qui permettent des modifications plus précises, rapides et ciblées sans nécessairement introduire de gènes étrangers. Cette nouvelle génération d'OGM, parfois appelée « nouveaux OGM »,

ouvre des perspectives pour développer des cultures mieux adaptées aux défis du changement climatique, plus nutritives ou résistantes à diverses contraintes, tout en posant de nouveaux défis réglementaires et éthiques.

Aujourd'hui, la culture des plantes génétiquement modifiées s'étend à plusieurs dizaines de millions d'hectares dans le monde, principalement dans les pays d'Amérique, d'Asie et d'Afrique, avec une diversification progressive des espèces et des traits modifiés. Parallèlement, la recherche continue d'explorer des applications innovantes, notamment dans la production d'aliments fonctionnels, la biopharmacie végétale et l'agriculture durable.

Ainsi, l'évolution des aliments et cultures génétiquement modifiés reflète une dynamique scientifique, technologique et sociétale complexe, marquée par des avancées majeures, des débats intenses et une adaptation constante aux enjeux agricoles, environnementaux et économiques mondiaux (Huot., 2002)

7 L'encadrement des aliments génétiquement modifiés

7.1. Réglementation européenne actuelle

La réglementation européenne encadrant les aliments génétiquement modifiés repose principalement sur deux textes clés : la directive 2001/18/CE relative à la dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés dans l'environnement, et le règlement (CE) n°1829/2003 concernant la mise sur le marché des denrées alimentaires et aliments pour animaux génétiquement modifiés, ainsi que leur traçabilité et étiquetage. Toute mise sur le marché d'un aliment contenant ou dérivé d'OGM doit faire l'objet d'une évaluation rigoureuse des risques pour la santé humaine, animale et l'environnement, réalisée par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA). Cette évaluation est suivie d'une procédure d'autorisation par la Commission européenne, après consultation des États membres. Depuis 2023-2025, des discussions sont en cours pour adapter cette réglementation aux nouvelles techniques génomiques (NTG), avec une proposition de déréglementation partielle visant à distinguer deux catégories d'organismes modifiés, ce qui suscite un débat important entre États membres et acteurs concernés (Binet et al ,2002)

7.2. Étiquetage

L'étiquetage des aliments génétiquement modifiés est un élément central de la réglementation européenne, garantissant la transparence envers les consommateurs.

7.2.1. Étiquetage volontaire / étiquetage obligatoire

L'étiquetage est obligatoire pour tout produit contenant plus de 0,9 % d'OGM détectables, qu'il s'agisse d'aliments destinés à la consommation humaine ou animale. En dessous de ce seuil, l'étiquetage peut être volontaire. Cette obligation vise à informer clairement le consommateur sur la présence d'ingrédients génétiquement modifiés dans les produits alimentaires.

7.2.2. Étiquetage « avec OGM » (étiquetage positif) et étiquetage « sans OGM » (étiquetage négatif)

L'étiquetage « avec OGM » (ou étiquetage positif) indique la présence d'organismes génétiquement modifiés dans le produit. À l'inverse, l'étiquetage « sans OGM » (ou étiquetage négatif) certifie l'absence d'OGM au-delà du seuil réglementaire. Ces mentions permettent aux consommateurs de faire un choix éclairé selon leurs préférences ou convictions.

7.2.3. L'étiquetage extensif et étiquetage restrictif

Le débat entre étiquetage extensif et restrictif porte sur l'étendue des produits concernés. Un étiquetage extensif impliquerait une large gamme de produits, y compris ceux obtenus par nouvelles techniques génomiques (NTG), tandis qu'un étiquetage restrictif limiterait cette obligation aux OGM classiques. La proposition récente de la Commission européenne tend à exonérer certains NTG de l'étiquetage, ce qui suscite des critiques de la part d'organisations environnementales et de défense des droits des consommateurs (MTE, 2023).

7.3. La traçabilité

La traçabilité des aliments génétiquement modifiés est une exigence réglementaire majeure, permettant de suivre un produit depuis sa production jusqu'à sa commercialisation. Elle facilite la gestion des risques, le retrait rapide des produits en cas de problème sanitaire, et garantit la transparence dans la chaîne alimentaire. La réglementation impose aux opérateurs du secteur agroalimentaire de tenir des registres

précis sur les lots contenant des OGM, ainsi que de mettre en place des systèmes de contrôle et de vérification.

Toutefois, la proposition de déréglementation des nouvelles techniques génomiques (NTG) prévoit une suppression partielle de ces obligations pour certains organismes, ce qui soulève des inquiétudes quant à la capacité future de contrôler efficacement la présence et la circulation des OGM dans les filières alimentaires (BRASSART, 2003)

Chapitre 3 Aliments

Génétiquement Modifiés Et

La Sécurité Alimentaire

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 à Rome en 1996, stipule que « la sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique, social 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 ». Cette définition repose sur quatre dimensions principales : la disponibilité des aliments (quantité suffisante), l'accès à ces aliments (capacité physique et économique), leur utilisation adéquate (qualité nutritionnelle et sanitaire), et la stabilité dans le temps de ces trois aspects. Elle intègre également la notion de sécurité sanitaire des aliments, c'est-à-dire leur innocuité et hygiène, ainsi que l'importance d'un environnement favorable comprenant assainissement et services de santé pour garantir une alimentation bénéfique à la santé. Cette définition constitue un consensus international de référence pour les politiques et actions visant à éradiquer la faim et assurer un accès durable à une alimentation adéquate pour tous (Shariff, 2019).

2. Parvenir à la sécurité alimentaire

La sécurité alimentaire repose sur quatre facteurs essentiels, selon la FAO (1995) :

- **La disponibilité des aliments** : il est indispensable que la nourriture soit présente en quantité suffisante pour fournir les nutriments et l'énergie nécessaires à une personne moyenne.
- **L'accès à une alimentation adéquate** : même dans un pays où la production alimentaire par habitant est suffisante, la sécurité alimentaire n'est pas assurée pour ceux qui n'ont pas les moyens financiers d'acheter suffisamment de nourriture ou qui ne peuvent pas cultiver eux-mêmes leurs aliments.
- **La stabilité des approvisionnements** : lorsque les ressources alimentaires sont irrégulières, en raison par exemple de sécheresses, d'inondations, de

fluctuations brutales des prix ou de chômage saisonnier, les populations les plus pauvres deviennent particulièrement vulnérables (Hubert,2003)

- **L'acceptabilité culturelle** : certains aliments, combinaisons alimentaires ou modes de préparation peuvent être rejetés ou interdits en raison de tabous religieux ou culturels, ce qui influence la sécurité alimentaire dans certaines communautés.

3. Les principes de santé publique en matière de réglementation des aliments GM

Les principes de santé publique en matière de réglementation des aliments génétiquement modifiés (GM) reposent sur une évaluation rigoureuse des risques pour la santé humaine, animale et l'environnement avant toute mise sur le marché ou dissémination. Au niveau européen, cette évaluation est conduite par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) conformément aux exigences définies par la directive 2001/18/CE et le règlement (CE) n°1829/2003, qui fixent les modalités d'évaluation, d'autorisation, de surveillance, de traçabilité et d'étiquetage des OGM.

Le cadre réglementaire applique le principe de précaution, ce qui signifie qu'un OGM ne peut être commercialisé que s'il est déclaré sûr, et que des mesures provisoires peuvent être prises en cas d'incertitude scientifique pour protéger la santé publique et l'environnement. La réglementation prévoit également des procédures transparentes, incluant la consultation publique et la publication des avis scientifiques, afin d'assurer la confiance des citoyens et des parties prenantes.

Par ailleurs, les États membres disposent de la possibilité, via la directive (UE) 2015/412, de restreindre ou d'interdire la culture d'OGM sur leur territoire pour des raisons autres que sanitaires ou environnementales, telles que des motifs socio-économiques, d'aménagement du territoire ou d'ordre public.

Enfin, la réglementation impose un encadrement strict des utilisations confinées des micro-organismes génétiquement modifiés, avec des classes de confinement adaptées au niveau de risque, ainsi qu'une agrémentation des

installations où ces organismes sont manipulés (L'Association pour la santé publique de l'Ontario., 2001)

4. Les risques des animaux génétiquement modifiés (AGM)

4.1. Les risques pour la santé

Les risques pour la santé liés aux animaux génétiquement modifiés (AGM) font l'objet d'une évaluation rigoureuse menée notamment par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA). Cette évaluation porte sur plusieurs aspects, dont la comparaison des caractéristiques physiologiques et biologiques des AGM avec leurs homologues non modifiés afin de détecter d'éventuels effets indésirables. Les principaux risques sanitaires potentiels incluent des effets toxiques, des réactions allergiques, la présence de facteurs antinutritionnels, ainsi que la possibilité de transfert de gènes conférant une résistance aux antibiotiques.

À ce jour, les données disponibles ne montrent pas de risques accrus significatifs pour la santé humaine liés à la consommation d'animaux génétiquement modifiés ou de produits dérivés, comme le saumon AquAdvantage ou le porc Enviropig, bien que les effets à long terme restent encore peu documentés. L'évaluation prend également en compte la santé et le bien-être des animaux GM eux-mêmes, en s'assurant qu'ils ne présentent pas de souffrances ou d'altérations physiologiques notables par rapport aux animaux classiques.

Par ailleurs, la manipulation génétique peut entraîner des effets non intentionnels, dus à l'intégration aléatoire des transgènes, ce qui nécessite une surveillance continue et des études approfondies pour détecter d'éventuelles conséquences imprévues. Le principe de précaution guide ces évaluations, imposant une surveillance à long terme et des mesures adaptées pour prévenir tout risque sanitaire (Hamedi, 2022).

4.2. Les risques pour l'environnement

Les risques pour l'environnement liés aux animaux et plantes génétiquement modifiés (OGM) incluent principalement la dissémination incontrôlée des gènes modifiés dans la nature, notamment par le transfert de gènes conférant une résistance

aux herbicides vers des plantes sauvages apparentées, ce qui peut engendrer des « mauvaises herbes » résistantes difficiles à contrôler. Ce flux de gènes pose un risque de déstabilisation des écosystèmes naturels et agricoles. Par ailleurs, les plantes GM produisant des protéines insecticides, comme les toxines Bt, peuvent affecter non seulement les insectes ciblés mais aussi des insectes utiles non ciblés, tels que certains papillons ou prédateurs naturels de ravageurs, perturbant ainsi l'équilibre écologique. Ces effets peuvent se propager dans la chaîne alimentaire et impacter la biodiversité, notamment via la toxicité des résidus de toxines dans le sol ou les cours d'eau. Enfin, l'utilisation intensive de plantes tolérantes aux herbicides entraîne souvent une augmentation de la pulvérisation de ces produits chimiques, ce qui accroît la pollution des sols, de l'air et des eaux, tout en favorisant l'apparition de résistances chez les adventices. Cette augmentation des herbicides a des conséquences indirectes sur la biodiversité et la santé des écosystèmes. En résumé, ces risques environnementaux appellent à une gestion prudente et à une évaluation approfondie des impacts des OGM pour préserver la diversité biologique et la durabilité des systèmes agricoles (LANAYRIE, 2008).

5. Les avantages

5.1. Les avantages sanitaires

Les avantages sanitaires des aliments génétiquement modifiés (OGM) sont multiples et s'appuient sur les possibilités offertes par le génie génétique pour améliorer la qualité nutritionnelle et réduire les risques liés à la consommation. Parmi ces bénéfices, les OGM peuvent réduire l'usage de pesticides et d'herbicides toxiques grâce à leur résistance accrue aux insectes et maladies, ce qui diminue l'exposition des populations aux résidus chimiques nocifs et améliore indirectement la santé publique. Par ailleurs, la modification génétique permet d'enrichir certains aliments en nutriments essentiels, comme le riz doré enrichi en bêta-carotène (précurseur de la vitamine A), destiné à lutter contre les carences nutritionnelles dans les pays en développement. Les OGM peuvent aussi réduire la présence de composés toxiques ou allergènes dans les aliments, contribuant ainsi à une meilleure sécurité alimentaire. De plus, la prochaine génération d'aliments GM pourrait offrir des qualités gustatives améliorées et une meilleure tolérance aux conditions environnementales difficiles,

favorisant une production plus stable et nutritive. Enfin, bien que les effets à long terme nécessitent encore des recherches approfondies, les données actuelles n'ont pas révélé d'effets indésirables significatifs sur la santé humaine liés à la consommation d'OGM autorisés. Ces avancées font des aliments génétiquement modifiés une option prometteuse pour répondre aux défis nutritionnels mondiaux tout en réduisant les impacts négatifs des pratiques agricoles conventionnelles.

5.2. Les avantages environnementaux

Les avantages environnementaux des cultures génétiquement modifiées (OGM) se traduisent principalement par une diminution des mauvaises herbes et des insectes ravageurs grâce à l'introduction de plantes tolérantes aux herbicides et résistantes aux insectes. Cette tolérance permet de réduire l'usage global de pesticides chimiques, notamment d'insecticides, ce qui limite l'impact toxique sur les écosystèmes et favorise une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Par exemple, les cultures Bt produisent une toxine spécifique qui cible certains ravageurs, réduisant ainsi la nécessité d'épandages insecticides, tandis que les cultures tolérantes aux herbicides facilitent le désherbage, contribuant à une meilleure gestion des adventices. Par ailleurs, ces cultures permettent souvent de réduire le travail du sol (moins de labour), ce qui diminue l'érosion et améliore la conservation des sols. En outre, les OGM sont développés pour offrir une meilleure tolérance aux stress abiotiques tels que le froid, la chaleur et la salinité, ce qui accroît la résilience des cultures face aux changements climatiques et aux conditions environnementales difficiles, contribuant ainsi à la stabilité et à la durabilité des systèmes agricoles. Ces caractéristiques permettent d'augmenter les rendements tout en limitant l'impact environnemental, notamment dans les pays en développement où les ravageurs et mauvaises herbes posent des problèmes majeurs. Toutefois, ces bénéfices doivent être considérés avec prudence, car l'utilisation accrue d'herbicides peut aussi entraîner l'apparition de mauvaises herbes résistantes et des effets indirects sur la biodiversité. Globalement, les OGM offrent des perspectives prometteuses pour une agriculture plus productive et plus durable, à condition d'être intégrés dans des pratiques agricoles responsables et accompagnés d'une gestion adaptée des risques (Government du Québec, 2021).

6. Futurs produits à risque possibles

Les futurs produits à risque possibles liés aux organismes génétiquement modifiés (OGM), notamment ceux issus des nouvelles techniques d'édition génomique (NTG), suscitent plusieurs inquiétudes majeures pour la santé, l'environnement et l'agriculture. Parmi ces risques potentiels, on compte la contamination génétique des plantes sauvages et des cultures par transfert incontrôlé de gènes modifiés, ce qui pourrait entraîner une dissémination irréversible de traits tels que la résistance aux herbicides, déstabilisant ainsi la biodiversité et les écosystèmes naturels. De plus, les effets non intentionnels liés à la modification génétique, comme la production de protéines toxiques ou allergènes, restent difficiles à prévoir, notamment avec les NTG qui modifient simultanément plusieurs gènes (multiplexing) et peuvent générer des effets hors-cibles. L'augmentation possible de l'utilisation d'herbicides liée aux cultures tolérantes favorise également l'apparition de mauvaises herbes résistantes et accroît la pollution des sols, de l'air et des eaux. Par ailleurs, la privatisation du vivant via les brevets sur les semences GM soulève des enjeux socio-économiques importants, notamment la dépendance accrue des agriculteurs aux entreprises semencières. Enfin, la déréglementation envisagée par la Commission européenne pour certains NTG, qui pourrait supprimer les procédures d'évaluation des risques, de traçabilité et d'étiquetage, inquiète quant à la capacité future de contrôle et de gestion des impacts potentiels sur la santé et l'environnement. Ces éléments soulignent la nécessité d'une vigilance accrue, d'une évaluation scientifique rigoureuse et d'un débat éthique approfondi avant l'adoption et la diffusion de ces futurs produits génétiquement modifiés (HAMED, 2022).

Conclusion

Conclusion

À ce jour, il n'existe pas de conclusions claires et définitives concernant les animaux génétiquement modifiés (AGM). Les données scientifiques disponibles restent insuffisantes pour prévoir avec certitude leurs effets sur la santé humaine. Plusieurs chercheurs reconnus ont soulevé des risques potentiels, tels que la toxicité, les réactions allergiques ou encore le transfert possible de résistances aux antibiotiques. Par ailleurs, les mécanismes de transfert génétique et leurs impacts sur les plantes restent encore mal compris. L'absence de recherches indépendantes, transparentes et accessibles sur la sécurité des AGM limite fortement la capacité à évaluer correctement leurs conséquences sur la santé. De plus, ces produits ont été commercialisés sans étiquetage clair ni système de traçabilité, et sans études indépendantes approfondies sur leur innocuité. Face à ces incertitudes, il est essentiel d'adopter une approche prudente, fondée sur le principe de précaution, et de poursuivre les recherches pour mieux cerner les risques éventuels. Il est également nécessaire de mettre en place des mesures efficaces pour surveiller les effets inattendus et gérer les risques résiduels, notamment en prévoyant la possibilité de retirer rapidement du marché tout produit qui s'avérerait problématique.

Références

Aubert M., (2000). La dissémination volontaire des OGM dans l'environnement. L'assemblée nationale pour l'union européenne, 22p.

Baloglu, M. C., Celik Altunoglu, Y., Baloglu, P., Yildiz, A. B., Türkölmez, N., & ÖzdenÇiftçi, Y. (2022). Gene-Editing Technologies and Applications in Legumes: Progress, Evolution, and Future Prospects. *Frontiers in genetics*, 13, 859437. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.859437>

Baumas, Kamila. (2024). Le Génie Génétique.

Bawa, A. S., & Anilakumar, K. R. (2013). Genetically modified foods: safety, risks and public concerns-a review. *Journal of food science and technology*, 50(6), 1035–1046. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0899-1>

Bermúdez-Humarán, L. G., & Langella, P. (2009). Utilisation des bactéries lactiques comme vecteurs vaccinaux [Use of lactic acid bacteria as mucosal vaccines]. *Revue francophone des laboratoires : RFL*, 2009(417), 79–89. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(09\)70312-0](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(09)70312-0)

Bertea, C. M., Narayana, R., Agliassa, C., Rodgers, C. T., & Maffei, M. E. (2015). Geomagnetic Field (Gmf) and Plant Evolution: Investigating the Effects of Gmf Reversal on Arabidopsis thaliana Development and Gene Expression. *Journal of visualized experiments : JoVE*, (105), 53286. <https://doi.org/10.3791/53286>

Binet J.L ., Ardaillou R ., Cambier J., (2002). Bulletin de l'académie nationale de médecine, C.N.R.S, Paris. France..

Binet J.L ., Ardaillou R ., Cambier J., (2002). Bulletin de l'académie nationale de médecine, C.N.R.S, Paris. France.

Birindwa, Bwihangane. (2019). La Biotechnologie et Sécurité alimentaire.

Brassart B., (2003). Traçabilité et étiquetage des OGM dans l'alimentation : la nouvelle réglementation européenne. Coordinatrice de la "Veille Juridique sur les OGM", 2p.

Brassart B., (2003). Traçabilité et étiquetage des OGM dans l'alimentation : la nouvelle réglementation européenne. Coordinatrice de la "Veille Juridique sur les OGM,

Caboche, M. (2001). Les plantes transgéniques Pour le meilleur ou pour le pire ? Études, Tome 395(7), 41-52. <https://doi.org/10.3917/etu.951.0041>.

Caboche, M. (2001). Les plantes transgéniques Pour le meilleur ou pour le pire ? Études, Tome 395(7), 41-52. <https://doi.org/10.3917/etu.951.0041>.

Callis J. J. (1984). *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 3(2), 259–270. <https://doi.org/10.20506/rst.3.2.157>

Chappelle Amelia. (2009). Genetic Alliance; The New York-Mid-Atlantic Consortium for Genetic and Newborn Screening Services. Understanding Genetics: A New York, Mid-Atlantic Guide for Patients and Health Professionals. Washington (DC): Genetic Alliance; 2009 Jul 8. CHAPTER 1, GENETICS 101. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK115568/>

Chasseriaud Mathilde. (2017). Les Organismes génétiquement modifiés (OGM).

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

Cloutier, C., Boudreault, S., & Michaud, D. (2008). Impact de pommes de terre résistantes au doryphore sur les arthropodes non visés : une méta-analyse des facteurs possiblement en cause dans l'échec d'une plante transgénique Bt. *Cahiers Agricultures*, 17(4), 388–394 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2008.0213>

Cooper GM. The Cell: A Molecular Approach. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000. Recombinant DNA. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9950/>

Dupont, Aurélie. (2008). La recombinaison homologue sur molécule unique d'ADN: mesures de torsion et de couple..

FAO. (2002). État de la technique dans la production d'animaux génétiquement modifiés. consulté sur <https://www.fao.org/4/y5316f/y5316f05.htm>

FAO. (2018). COMMISSION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE. CGRFA-17/19/3.1.

Faye, L., & Champey, Y. (2008). Plantes, médicaments et génétique: Quelles applications pour demain?[Plants, medicine and genetics, which applications for tomorrow?]. *Medecinesciences* : M/S, 24(11), 939–945. <https://doi.org/10.1051/medsci/20082411939>

Flores J.L., (2019). Le génie génétique en agriculture. Bibliothèque du Parlement, Ottawa, Canada, 1+2P.

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.

Gianluca Riccio. (2015). Les bananes du futur en mars : elles ne s'oxydent pas grâce à CRISPR. consulté sur <https://fr.futuroprossimo.it/2025/02/a-marzo-le-banane-del-futuro-non-si-ossidano-grazie-a-crispr/>

Government du Québec. (2021). Bénéfices potentiels. https://www.ogm.gouv.qc.ca/sante_et_environnement/sante/benefices_potentiels/benefices.html

Government du Québec. (2021). Histoire de l'amélioration génétique. Consulté sur https://www.ogm.gouv.qc.ca/information_generale/historique.html#:~:text=Les%20premiers%20OGM,ADN%20d'une%20bact%C3%A9rie3.

GuimogoDOLO. (2018). NOTION DE GENIE GENETIQUE.

Gupta, V., Sengupta, M., Prakash, J., & Tripathy, B. C. (2016). An Introduction to Biotechnology. *Basic and Applied Aspects of Biotechnology*, 1–21. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0875-7_1

Halley, P., & Morales, S. (2013). La réglementation canadienne des OGM destinés à l'alimentation et à l'agriculture. In M. Deguergue & C. Moiroud (éds.), *Les*

OGM en questions (1-). Éditions de la Sorbonne.
<https://doi.org/10.4000/books.psorbonne.91030>

Hamedi, nabila. (2022). Les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) et le principe de précaution. *Revue Académique de la Recherche Juridique*, 13(2), 737-755. <https://asjp.cerist.dz/en/article/209464>

Hisano, H., Abe, F., Hoffie, R. E., & Kumlehn, J. (2021). Targeted genome modifications in cereal crops. *Breeding science*, 71(4), 405–416. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.21019>

Hubert M., (2003). L'utilisation du riz génétiquement modifié dans l'alimentation. Thèse de doctorat : Université de Nantes,

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.

Hurel Julie. (2020). Détection d'organismes génétiquement modifiés (OGM) inconnus par analyse statistique de données de séquençage haut débit. Génétique. Université de Rennes,

Kowalczyk, T., Wieczfinska, J., Skala, E., Śliwiński, T., & Sitarek, P. (2020). Transgenesis as a Tool for the Efficient Production of Selected Secondary Metabolites from in Vitro Plant Cultures. *Plants (Basel, Switzerland)*, 9(2), 132. <https://doi.org/10.3390/plants9020132>

Ministère de la transition écologique (MTE). (2024). Les organismes génétiquement modifiés (OGM).

Mirko Saam, Barbara Bordogna Petriccione et Andràs November, « Les impacts des plantes transgéniques dans les pays en voie de développement et les pays en transition », *Revue européenne des sciences sociales* [En ligne], XLII-130 | 2004, mis en ligne le 16 novembre 2009, consulté le 19 mai 2025. URL : <http://journals.openedition.org/ress/493> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ress.493>

MTE. (2023). OGM : le cadre réglementaire

NLM. (2019). Collection Development Guidelines of the National Library of Medicine [Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US); 2019-. Biotechnology. [Updated 2016 Apr 28]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK518720/>

Shakweer, W. M. E., Krivoruchko, A. Y., Dessouki, S. M., & Khattab, A. A. (2023). A review of transgenic animal techniques and their applications. *Journal, genetic engineering & biotechnology*, 21(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00502-z>

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.

Shariff M. (2019). Food safety: a linchpin of One Health. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 38(1), 123–133. <https://doi.org/10.20506/rst.38.1.2947>

Turcotte-Tremblay A. M. (2014). Research on genetically modified foods: double standards of transparency. *Canadian journal of public health = Revue canadienne de sante publique*, 105(1), e91. <https://doi.org/10.17269/cjph.105.4418>

Turki, R. (2021). Art et biotechnologie Penser et repenser les pratiques artistiques à l'épreuve du Covid-19. *Ligeia*, 189-192(2), 34-37. <https://doi.org/10.3917/lige.189.0034>.

Van Eenennaam A. L. (2018). The contribution of transgenic and genome-edited animals to agricultural and industrial applications. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 37(1), 97–112. <https://doi.org/10.20506/rst.37.1.2743>

Young F. E. (1986). Biotechnology: the view from the FDA. *Health matrix*, 4(3), 10–15.