

Annexe 2

Les techniques de modification du génome des plantes cultivées

Depuis le XX^e siècle, les connaissances en biologie cellulaire et en génétique ainsi que les progrès technologiques ont permis de développer de nouvelles techniques comme la transgénèse et l'édition génomique, bien plus rapides et efficaces pour obtenir de nouvelles variétés de plantes. Ces techniques permettent de modifier les gènes des variétés.

Document 1 : Le principe de la transgénèse : technique moderne de sélection

La **transgénèse** est une technique de biologie moléculaire qui consiste à **transférer un gène** depuis une **espèce donneuse** vers une **espèce receveuse** qui peuvent être des espèces différentes. Ce transfert confère un **caractère nouveau avantageux** au receveur. L'organisme ayant intégré le gène sont des **organismes transgéniques** ou **OGM** (Organisme Génétiquement Modifiés).

Ce transfert se fait soit par le biais de **vecteurs** (plasmides dans bactéries, virus...par ex), soit par un **bombardement des cellules à modifier par de microbilles entourées du gène à insérer**.

Document 2 : La culture d'OGM dans le monde

En agronomie, la transgénèse est une technique très utilisée car elle permet une **modification rapide** des plantes cultivées et permet la production de variétés possédant un caractère avantageux (**résistance à un insecte, résistance à un herbicide, production d'une molécule nutritive intéressante pour l'Homme...**).

En 2019, la culture d'OGM dans le monde représentait 190 millions d'hectares soit environ 10% des surfaces totales cultivées.

Les plus gros producteurs mondiaux sont les Etats-Unis, le Brésil, l'Argentine, le Canada et l'Inde. À eux cinq, ils totalisent 91% des surfaces d'OGM cultivées en 2019.

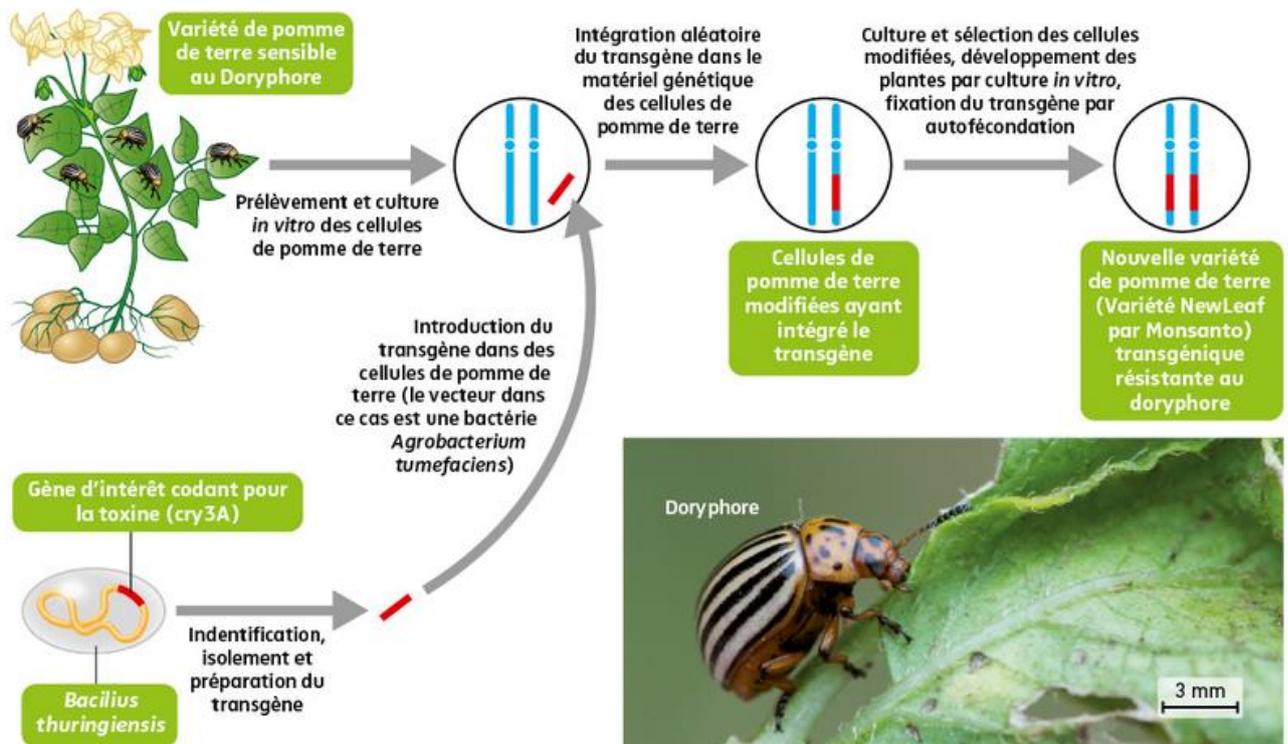
Les quatre plantes OGM les plus cultivées sont le coton, le soja, le maïs et le colza. En surface, elles correspondent à 99% des cultures OGM. Le reste se partage principalement entre la luzerne et les betteraves sucrières, mais il existe également quelques autres fruits et légumes. Les techniques OGM sont également utilisées pour la création de fleurs d'ornement.



Variété de maïs transgénique résistante à un herbicide (glyphosate). Celui-ci a été appliqué sur la culture, détruisant toutes les plantes, sauf le maïs.

Document 3 : Exemple de la pomme de terre génétiquement modifiée

Les pommes de terre cultivées sont sensibles à un insecte ravageur, le Doryphore. *Bacillus thuringiensis*, une bactérie, produit une toxine agissant comme un insecticide sur les insectes (perturbation des flux ioniques intestinaux).



Document 4 : Exemple du maïs génétiquement modifié

La **pyrale** est une chenille qui pond ses œufs dans les tiges de maïs que les chenilles rendent ensuite cassantes.

Une bactérie, *Bacillus thuringiensis*, produit naturellement une **toxine** qui agit en provoquant des lésions mortelles de l'intestin de ces chenilles.

Le but est de rendre le maïs résistant à la pyrale en faisant fabriquer à **ses cellules** la toxine de la bactérie. Le génome du maïs doit être modifié par transfert du gène de la toxine synthétisée naturellement par *Bacillus thuringiensis* (Bt).



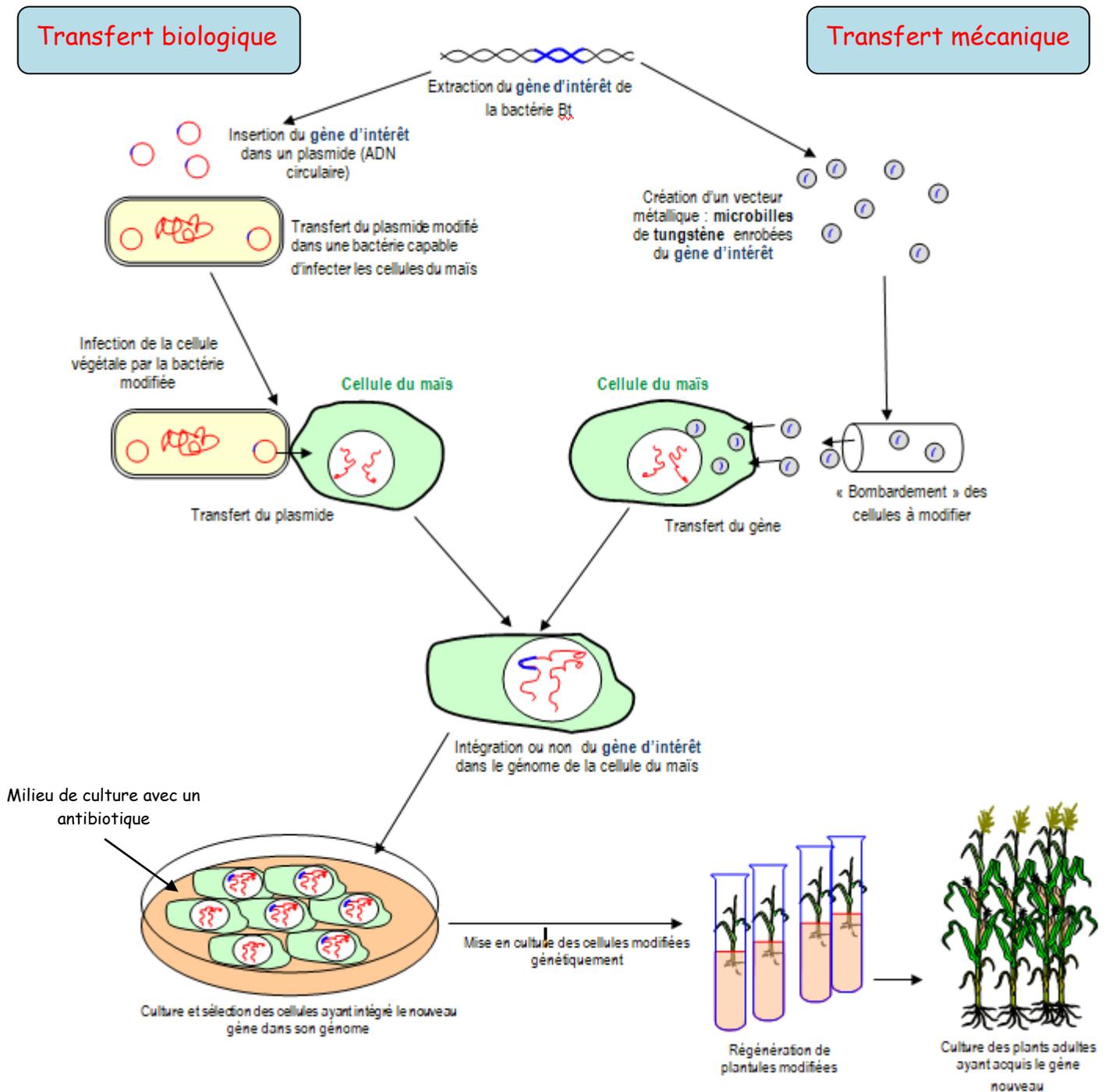
Chenille de la pyrale du maïs et adulte

Vidéo à regarder

<https://www.youtube.com/watch?v=3o9aNsYsQPA&t=221s>

Dans un premier temps, on va isoler le **gène de la toxine** (= gène d'intérêt) chez la bactérie Bt. Dans le cadre du transfert biologique, ce gène est introduit dans un plasmide bactérien qui sert de **vecteur**. Ce plasmide comporte également des **gènes de sélection** qui permettront de repérer les cellules transformées : il s'agit de gènes de résistance aux antibiotiques. Une fois sélectionnés par l'antibiotique, **les cellules** qui ont résisté à l'antibiotique seront donc celles possédant le gène d'intérêt et elles produiront la toxine qui protégera le maïs de la larve de pyrale. Elles sont mises en culture.

Outre le transfert biologique, on utilise également le **transfert mécanique** : des billes de tungstène enrobées du gène à intégrer sont projetées à grande vitesse sur les cellules à modifier.



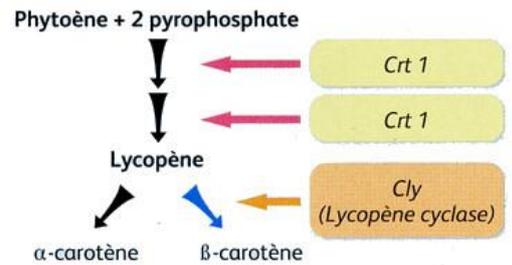
Les 2 techniques de transgénèse chez le maïs

Document 5 : Exemple du riz riche en carotène

Le riz est une céréale à la base de l'alimentation de millions d'individus, mais sa consommation est parfois associée à de fortes carences en vitamine dans de nombreux pays pauvres.

La déficience en vitamine A (rétinol, dérivé du carotène) peut entraîner des problèmes de vision allant jusqu'à la cécité. Le riz est incapable de synthétiser le β -carotène nécessaire à la production de rétinol, il ne possède pas la voie de synthèse de celui-ci.

En 2000, deux chercheurs de l'université de Fribourg, en transférant un gène de jonquille (le gène *cly* codant pour une enzyme, la lycopène cyclase) et un gène d'une bactérie du sol (le gène *Crt1* codant une seconde enzyme appelée *crt1*), ont réussi à créer la voie de biosynthèse du β -carotène chez le riz (on obtient alors un riz doré).



Riz sauvage

Riz doré.

Grains de riz	Teneur en β -carotène d'un grain (par g de matière sèche)
Riz non OGM	0 μ g
Riz doré II (obtenu en 2005)	46 μ g

Teneur en β -carotène des différents grains de riz

Vidéo à regarder

<https://www.youtube.com/watch?v=QA AwVXNZlp4>

Document 6 : Avantages et inconvénients de certaines variétés transgéniques

Plante OGM	Caractéristique apportée par le nouveau gène	Avantages	Risques/Problèmes
Maïs « Bt »	Production d'une protéine insecticide toxique pour la pyrale (insecte ravageur des cultures)	Réduction de l'utilisation d'insecticide donc réduction des coûts	<ul style="list-style-type: none"> - Sélection d'insectes résistants à la toxine insecticide https://www.youtube.com/watch?v=glzmRqLkMHY - Risque de pollution génétique des cultures « naturelles » - Innocuité sanitaire non démontrée
Colza « Round-up ready »	Résistant à une forte quantité d'herbicide	<ul style="list-style-type: none"> - Seule la plante OGM résiste à un herbicide donc désherbage facilité par épandage d'herbicide. - Moins de concurrence avec les « mauvaises » herbes 	<ul style="list-style-type: none"> - Sélection de « mauvaises » herbes résistantes à l'herbicide donc utilisation plus forte d'herbicide - Risque de pollution génétique des cultures « naturelles » - Innocuité sanitaire non démontrée
Tomate « Mac Gregor »	Augmentation de la durée de conservation de plusieurs semaines	Facilite le transport et la commercialisation	<ul style="list-style-type: none"> - L'absence de pourrissement de la tomate rend difficile la perception de la fraîcheur du légume. - Risque de pollution génétique des cultures « naturelles » - Innocuité sanitaire non démontrée
Riz doré	Augmentation de la teneur en vitamine A	Réduction des carences en vitamine A qui touchent 200 millions de personnes	<ul style="list-style-type: none"> - L'obtention d'un effet nécessite de consommer 9kg de riz cuit par jour ! - Risque de pollution génétique des cultures « naturelles » - Innocuité sanitaire non démontrée

***Innocuité sanitaire = objet ou organisme inoffensif**

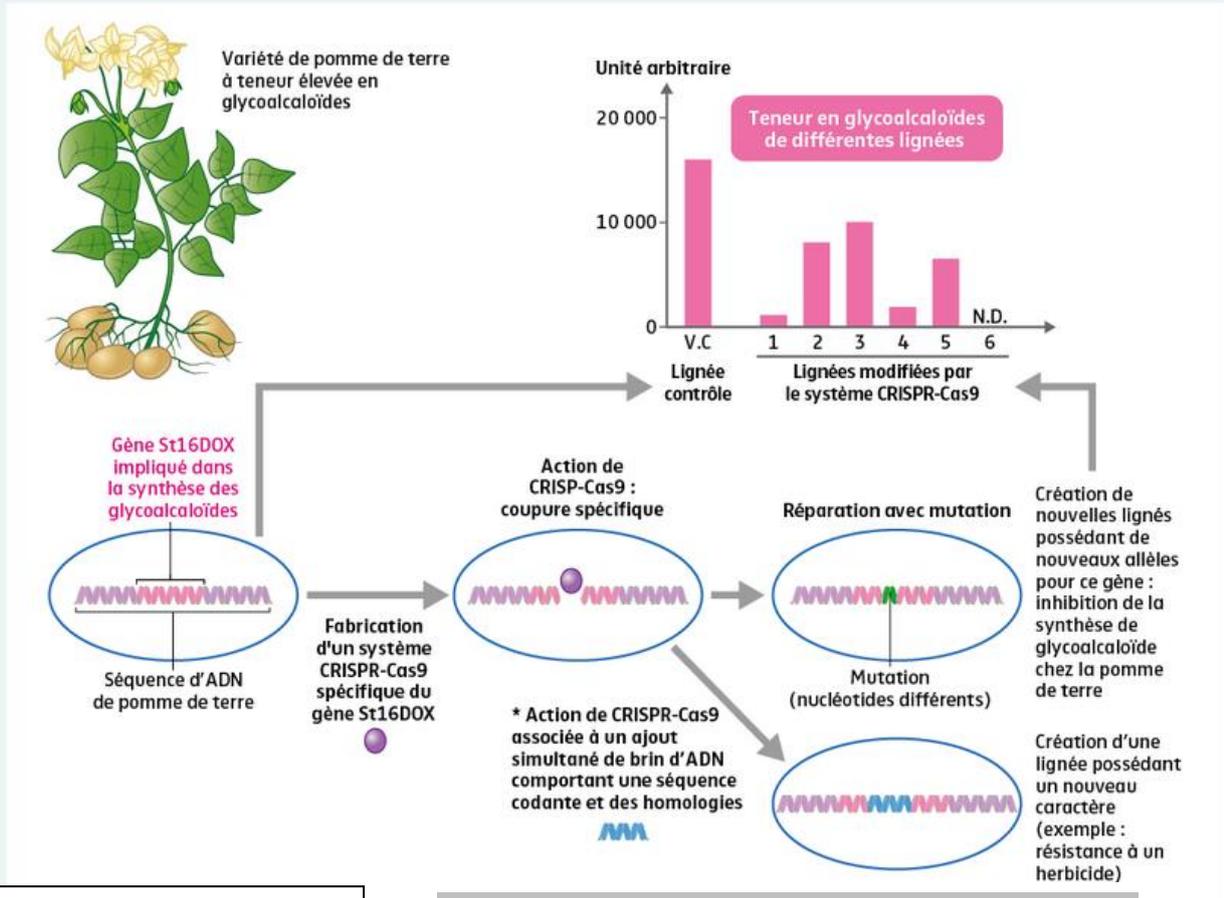
Les agriculteurs qui souhaitent utiliser des plantes OGM doivent racheter des semences chaque année auprès de leur fournisseur. Ils sont donc dépendants d'un faible nombre de fournisseurs (une dizaine sont importants dans le monde).

Document 7 : L'édition génomique : un outil de grande précision

Une variété de pomme de terre à teneur élevée en glycoalcaloïdes est modifiée afin d'en abaisser la teneur. Les glycoalcaloïdes sont des substances potentiellement toxiques. En plus d'avoir un goût amer, elles peuvent produire des irritations de la bouche et de la langue.

La création de nouvelles variétés qui possèdent un taux bien plus faible de substances potentiellement toxiques présente des avantages gustatifs, de santé et donc commercial.

L'édition génomique est un processus utilisant des **enzymes** créant des **coupures** dans l'ADN de façon ciblée (au niveau de séquences spécifiques). Parmi les systèmes employés, **CRISPR-Cas9** permet une grande précision en utilisant un **ARN guide** complémentaire de la séquence cible couplé à une enzyme. Sur la zone de coupure les cellules réparent l'ADN, le plus souvent avec quelques erreurs, ce qui entraîne des **mutations** (création de nouveaux allèles) qui, au niveau d'un gène, conduisent généralement à son **inactivation**.



Vidéo à regarder

<https://www.youtube.com/watch?v=RplWR12npqM>

Contrairement à la transgénèse, cet ajout de gène se fait dans un emplacement de l'ADN très précis.