

TP. 1 - La plante domestiquée. Exemple du maïs

Enjeux planétaires contemporains
Chapitre 2 - La plante domestiquée

➤ Déclencheur

Un maïs OGM de Monsanto soupçonné de toxicité (Le Monde 19 septembre 2012).

http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/09/19/un-ogm-de-monsanto-soupconne-de-toxicite_1762236_3244.html

Suite à cette actualité nous rechercherons comment l'homme a domestiqué le maïs sauvage pour obtenir un maïs domestiqué plus productif, capable de lutter contre un insecte parasite mais incapable de se reproduire naturellement.

A. Le maïs, de la téosinte aux variétés hybrides (INRA) - Histoire d'une domestication

Consignes

- À l'aide des documents 1 et 2, comparez sous forme d'un tableau, le maïs sauvage du maïs cultivé.
- A l'aide des documents 3 et 4, retracez les étapes de la domestication à l'échelle historique et biologique.



Document 1 - Présentation

Matériel : épis et grains de maïs.

Le maïs cultivé *Zea mays ssp mays* est une graminée d'origine tropicale. Différentes formes sauvages de l'espèce *Zea Mays* existent au Mexique. Ce sont les téosintes, avec des formes annuelles, *Zea mays ssp mexicana*, *Zea mays ssp parviglumis* considérée aujourd'hui comme l'ancêtre du maïs cultivé, et une forme pérenne, *Zea mays ssp perennis* (photo à gauche).

Une plante est formée par un nombre variable de tiges terminées par une panicule mâle et qui portent des ramifications secondaires à la base desquelles se trouvent les petits épis. Les téosintes sont morphologiquement très différentes du maïs : elles tallent beaucoup



(photo de droite), forment sur des ramifications latérales de nombreux petits épis (de quelques cm), qui peuvent se prolonger par une petite inflorescence mâle et sont réduits à deux rangées de quelques grains alternes enveloppés dans une cupule cellulosique (équivalent de glumes soudées), les grains sont soudés les uns aux autres et à maturité l'épi se désarticule et les grains tombent sur le sol. En revanche, l'inflorescence mâle ressemble beaucoup à celle du maïs.

	Épi femelle	Coupe épi femelle	Grain
Téosinte	<p style="text-align: center;">5 cm</p>	<p style="text-align: center;">1 cm</p>	<p>Longueur : 0,4 cm Masse : 0,06g Nombre de grains : 8 à 10 Réserve albumen : amidon Glumes soudées qui protègent le grain Grains qui se détachent</p>
Maïs	<p style="text-align: center;">20 cm</p>	<p style="text-align: center;">6 à 6 cm</p>	<p>Longueur : 0,8 cm Masse : 0,27g Nombre de grains : 500 Réserve albumen : amidon Glumes non soudés souples Grains qui ne se détachent pas naturellement</p>

Document 2 - Différenciation génétique.

Un nombre limité de gènes permettent d'expliquer le passage de téosinte à maïs. Dans un croisement téosinte x maïs, en F2, environ une plante sur 500 redonne le type parental (hypothèse de 5 gènes majeurs). On connaît plusieurs gènes avec des allèles permettant la perte des caractères téosintes ; ils contrôlent la désarticulation du rachis à maturité, le passage de deux rangées de grains à un multiple de deux, l'induration de la glume, le développement d'épillettes par paires et l'inhibition de ramifications latérales avec la transformation de la panicule mâle terminale de la ramification en épis.

Les différences majeures entre la téosinte *Zea mays ssp parviglumis* et le maïs sont au niveau de la fleur. Les autres différences ne font que traduire les différences observées entre formes sauvage et cultivée d'une espèce : la sélection naturelle qui tend à maximiser la valeur sélective (nombre de descendants laissés par une plante) a conduit à des plantes qui tallent, avec une maturité échelonnée sur une même plante, un dispositif de dispersion des graines (désarticulation du rachis) et des grains protégés... alors que l'intervention de l'homme a fait disparaître le tallage et a conduit à des épis avec un rachis soudé portant de plus en plus de grains nus se développant pratiquement tous en même temps. La conséquence est que, alors que la téosinte se maintient à l'état sauvage, le maïs est devenu totalement dépendant de l'homme. La domestication de la téosinte s'est faite par la fixation de certains gènes à effets assez forts expliquant la différence entre la téosinte et le maïs. Les fouilles montrent que l'allèle dominant du gène du maïs qui inhibe le développement des ramifications latérales a été retenu dès 4000 avant JC ; de plus on ne trouve qu'un seul allèle, ce qui est en faveur d'un seul centre de domestication.

Document 3 - Les étapes de la domestication - Des travaux archéologiques

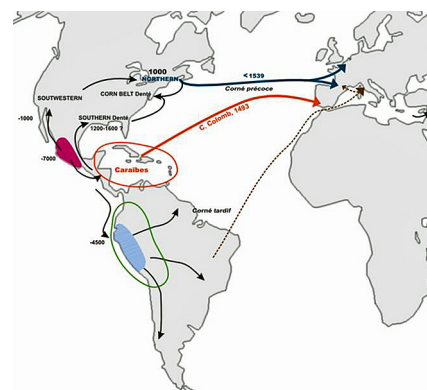
La question de savoir s'il y a eu un seul événement de domestication ou plusieurs fait en effet encore l'objet de recherches. L'hypothèse la plus couramment admise est celle d'un seul centre de domestication à partir de *Zea mays ssp parviglumis* situé dans la région d'Oaxaca et Jalisco (Matsuoka et al., 2002) où les fouilles archéologiques montrent bien le développement d'une agriculture 5000 ans avant JC. Cependant, *Zea mays ssp mexicana* a joué un grand rôle dans l'évolution du maïs ; elle est très dispersée et présente là où est le maïs, alors que *Zea mays ssp parviglumis* a une aire restreinte. Des échanges génétiques importants ont eu lieu entre *Zea mays ssp mexicana* et le maïs ; ils ont été très favorables à la variabilité génétique du maïs.

Les fouilles archéologiques n'ont jamais permis de trouver un maïs sauvage ressemblant au maïs actuel ; par contre, elles montrent bien le passage de l'épi de téosinte (2-3 cm) il y a 7000 ans, à celui du maïs qui mesurait environ 7cm 2000 ans plus tard, et près de 10 cm au début de l'ère chrétienne. Au cours du temps, le nombre de grains et leur taille ont considérablement augmenté.

Les plus vieux maïs archéologiques au Mexique ont 7000 ans environ (5000 ans avant JC). La culture du maïs semble s'être surtout développée de -2000 à 0. A cette époque, au Mexique, les tribus se fixent, il apparaît des villages d'agriculteurs, avec une alimentation à base de maïs. Dans ces civilisations (les Olmèques), le maïs joue un rôle important et est représenté sous les traits d'une divinité ou d'une déesse. Cette civilisation va inspirer les Mayas au Sud et donne naissance aux civilisations des Toltèques et des Aztèques (dès 200 ans après JC et l'empire Aztèque durera jusqu'en 1521) où le maïs joue toujours un grand rôle. D'ailleurs, en langage Aztèque, certains anthropologues pensent que téosinte signifierait « dieu du maïs » (téo = dieu, centite = maïs). Chez les Toltèques, la déesse mère accouche tous les ans, au moment de la maturité du maïs, du dieu du Maïs. Le dieu du maïs, est le dieu de la vie. Pour les Mayas, l'homme descend du maïs et le troisième dieu, dans leur hiérarchie est le dieu du maïs. Dans ces civilisations, des sacrifices sont faits pour la culture du maïs (des enfants sont sacrifiés pour que le Dieu Tlaloc, dieu de la pluie, envoie de l'eau pour le maïs). De nombreux rites d'offrandes au dieu du maïs dès le semis traduisent une inquiétude - attitude très différente de celles des civilisations liées à la culture du blé, chez lesquelles la fin des semis était une période de fêtes : dans les zones d'origine du blé, le blé est moins dépendant de la pluviométrie que le maïs au Mexique.

Document 4 - La diffusion du maïs dans le monde

En Amérique même, les recherches archéologiques et les études à partir des marqueurs moléculaires indiquent deux centres de diversification, l'un au nord de l'équateur issu du centre primaire Mexique-Guatemala, et l'autre au sud de l'équateur à partir du centre secondaire des Andes (Équateur, Pérou) où il est cultivé depuis au moins 4500 ans (Figure 1), d'abord dans les basses terres tropicales, puis en altitude jusqu'à près de 4 000 m. On le trouve dans le sud-ouest des États-Unis 1000 à 1500 ans avant JC, associé au développement d'une l'agriculture à base de maïs, courge et haricot. À partir de cette région le maïs est remonté vers le Nord : dans le Nord-Est des États-Unis il était cultivé par les indiens Iroquois, avant l'arrivée de Jacques Cartier en 1535. Il était aussi cultivé par les indiens du Canada. Des Grands lacs au rio de la Plata, le maïs a joué un rôle important dans l'alimentation des « Indiens », pour toutes les classes sociales.



Référence du texte. http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Le_ma%C3%AFs_de_la_t%C3%A9osinte_aux_vari%C3%A9t%C3%A9s_hybrides

B. Le maïs transgénique avantages et risques

Les maïs Bt sont des variétés de maïs qui ont été modifiées génétiquement par l'ajout du gène leur conférant une résistance aux principaux insectes nuisibles du maïs, entre autre une pyrale : la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis*. Le terme Bt fait référence au *Bacillus thuringiensis* dont on a extrait le gène codant la toxine Cry1Ab. En 2003, la surface de maïs transgénique Bt plus tolérante à un herbicide, occupe 12,3 millions d'hectares, correspondant à 18 % de la surface d'OGM totale cultivés dans le monde (source ISAAA, données 2003).

Consignes

- À l'aide des documents 1 et 2, nommez sur le schéma (document 3) et expliquez chaque étape de la construction du Maïs transgénique résistant à la pyrale.
- Identifiez les avantages et les risques de la culture de Maïs transgénique énoncés dans le film proposé (document 2) puis discutez-les à l'aide des informations fournies par le document 4.

Document 1

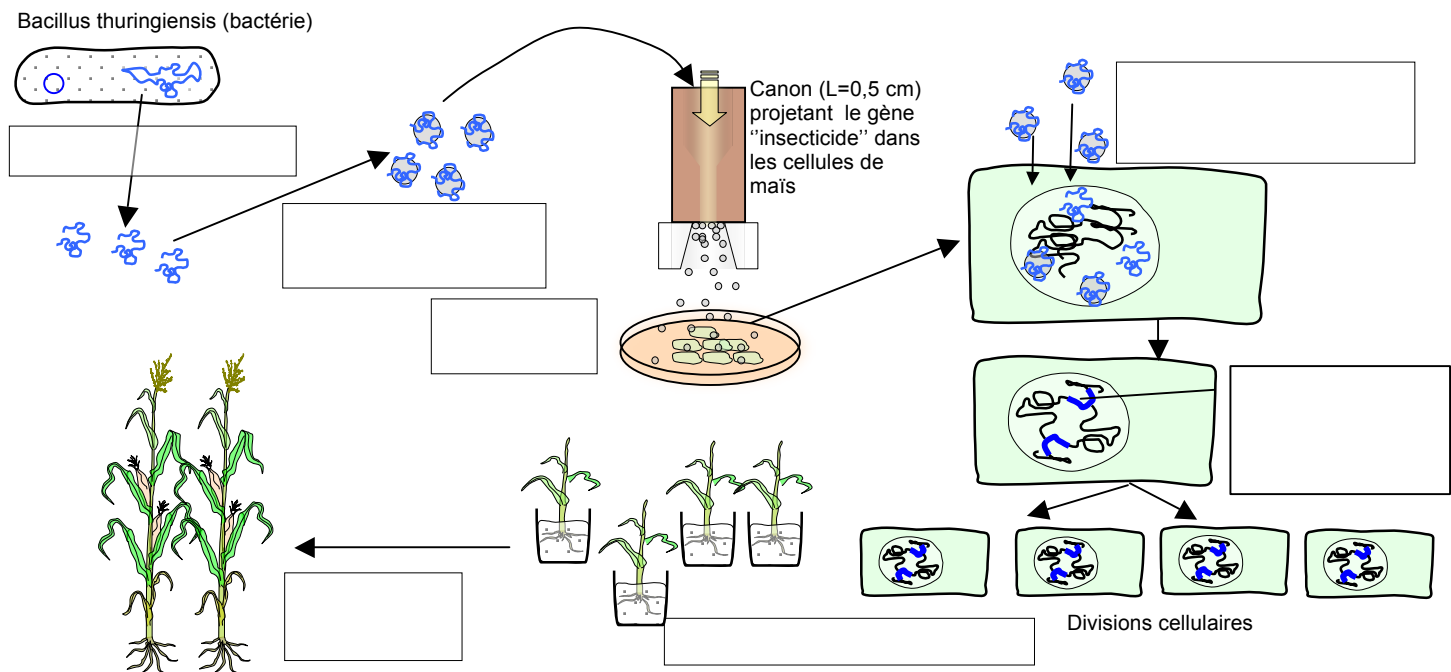
Les étapes de la transgénèse :

1. Repérer un caractère intéressant dans un organisme vivant et identifier la protéine.
2. Identifier et isoler le gène d'intérêt.
3. Réaliser et amplifier une construction génique
4. Transférer de l'ADN = Introduction d'un ADN étranger dans une cellule embryonnaire de Maïs.
5. Contrôler l'efficacité du transfert chez l'hôte.
6. Sélectionner des cellules exprimant le gène ajouté par tri.

Document 2

Vidéo Universcience - Maïs génétiquement modifié - <http://www.universcience.tv/media/805/mgm--mais-genetiquement-modifie.html>

Document 3 - Schéma des étapes de la construction d'un maïs transgénique résistant à la pyrale



Document 4 - Le maïs transgénique résistant à la pyrale favorise-t-il l'apparition de résistances chez les insectes ?

Des variétés de maïs ont été transformées par des firmes privées pour produire dans leurs tissus la toxine Cry1Ab de *Bacillus thuringiensis* (Bt), active contre la pyrale du maïs.

1. Cette stratégie de lutte offre plusieurs avantages

- La toxine Cry1Ab n'est active que sur les insectes, aucune toxicité n'a été mise en évidence, ni pour les animaux domestiques ni pour l'homme.
- La toxine est produite principalement dans les parties vertes de la plante, qui ne sont jamais consommées par l'homme ;
- Les premiers essais ont montré une remarquable efficacité de ces maïs (voir tableau ci-dessous) ;

Date d'infestation par la Pyrale	Maïs Bt : pourcentage de mortalité larvaire	Insecticide chimique Chlorpyrifos-éthyl
24 juin	100%	98%
8 juillet	100%	72%
22 juillet		73%
6 août	100%	
20 août	93%	

Comparaison de l'efficacité de différents traitements contre la pyrale de maïs (d'après Labare et al 1992)

- Les larves vivent à l'intérieur de la plante, dès leur éclosion, elles sont éliminées avant d'avoir pu provoquer des dégâts ;
- La toxine insecticide produite dans la plante est protégée des conditions climatiques, pluie ou rayonnements ultraviolets.

En 1995 la culture du maïs transgénique a été autorisée aux États-Unis, en 1996 au Canada et en novembre 1997 en France. En 1997 elle a représenté 10 % des surfaces cultivées en maïs aux États-Unis.

2. Certaines questions se sont posées avant la mise sur le marché :

- **Quelles sont les conditions de limites d'efficacité de ces variétés ?**

La toxine insecticide produite par la plante bloque l'appareil digestif des larves de pyrale ou de sésamie, cette dernière est présente essentiellement dans le Sud de la France. Dans les zones méridionales, une deuxième génération de chenille de pyrale et de sésamie apparaît la même année. Il faut donc estimer l'efficacité de l'insecticide produit par la plante lors des infestations tardives (voir le tableau).

- **Existe-t-il des risques de contournement par la sélection d'insectes résistants ?**

L'apparition de pyrales résistantes à la toxine de Bt, dans ce cas les chenilles ne seraient plus détruites, les agriculteurs devraient revenir à l'utilisation d'insecticides chimiques.

Pas de risque majeur pour les autres cultures, l'infestation des haricots ou des framboisiers par la pyrale est moins massive, elle est contrôlable par plusieurs molécules chimiques.

Les risques de sélection de populations de pyrale résistantes à Bt sont en principe plus élevés que dans le cas des insecticides chimiques, car tous les insectes qui ont consommé du maïs transgénique ont été en contact avec la toxine.

La probabilité et la vitesse de sélection d'insectes résistants dépendent :

- du nombre de générations ;
- de la concentration de la toxine dans la plante ;
- de la fréquence initiale et de la «force» des éventuels gènes de résistance dans les différentes populations de pyrale ;
- de la fréquence des accouplements des survivants d'un champ transgénique avec les papillons issus des champs voisins non transgéniques ;
- du coût biologique d'acquisition de la résistance (femelles moins fécondes, développement plus lent...).

- **Y a-t-il des effets non intentionnels ?**

On ne connaît pas d'effets non intentionnels néfastes prévisibles sur les prédateurs naturels de la pyrale.

Au contraire, on peut penser que l'utilisation de maïs Bt permettra le développement d'auxiliaires (=prédateurs) jusque là tués par les traitements chimiques. Peu à peu ils contribueront mieux à la régulation des populations de ravageurs.

3. Recherche de résistance chez les insectes

L'objectif général des travaux effectués à l'INRA :

- est d'identifier s'il existe dans les populations naturelles de pyrale des gènes susceptibles d'induire une résistance à la toxine présente dans le maïs transgénique.

Il s'agit d'établir la courbe de toxicité de la toxine de *Bacillus thuringiensis* pour les différentes populations sauvages de pyrale, la perte de la toxicité est indicateur de l'évolution de la résistance à Bt. L'établissement d'une telle courbe dans une région donnée est indispensable avant l'installation de plantes transgéniques.

- de caractériser les éventuels gènes de résistances afin de mettre au point des méthodes de détection simples avant qu'ils atteignent des fréquences permettant leur détection par des tests toxicologiques classiques.

Une sélection, commencée en 1993 et poursuivie en conditions expérimentales pendant 26 générations, n'a pas permis l'obtention d'une lignée de pyrale résistante à la toxine de Bt. À chaque génération, mille chenilles ont été traitées dans le but de trouver une résistance.

- d'étudier leur hérédité et leur maintien dans les populations dans différentes conditions expérimentales et ainsi d'évaluer les risques de dispersion géographique de gènes de résistance, s'ils apparaissent.

Ces différents travaux donneront des éléments de biovigilance. Ils contribueront au suivi des conséquences sur l'environnement de la culture du maïs Bt. Les «marqueurs» génétiques révélés par ces études pourront de plus servir aux investigations visant à identifier les relations entre les gènes de résistance et ainsi aider à la caractérisation de marqueurs génétiques de la résistance.

Extrait d'un article de Guy Riba (INRA Paris) et Josette Chaufaux (INRA Versailles)