

Thème 2 - ENJEUX PLANETAIRES CONTEMPORAINS

THEME 2A - De la plante sauvage à la plante domestiquée

Classe : Terminale SPE SVT
Durée envisagée : 1 semaine
Nombre de TP : 1

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves
En bleu : Activités pratiques
En vert : Problématique et hypothèses

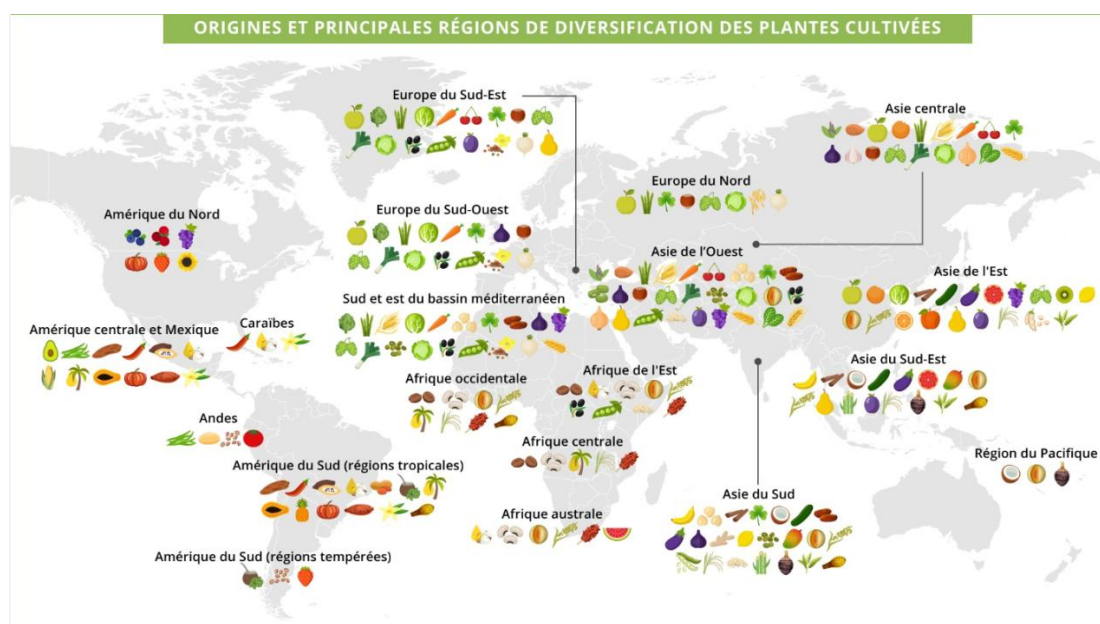


Chapitre 4

La domestication des plantes

Introduction : Grâce aux fossiles, nous savons que nos ancêtres ont commencé à domestiquer les plantes (mais également les animaux) il y a environ 10 000 ans avant JC. Ces événements de domestication multiples sont en lien avec le **réchauffement climatique** global de la transition Pléistocène-Holocène (-11700 ans : voir TP climat). La domestication des plantes a permis de sédentariser les populations qui sont passés d'un mode « **chasseur cueilleur** » à un mode « **agriculteur** ». Il y a environ une douzaine de **foyers de domestication des plantes**. L'ensemble des plantes cultivées sont issues d'**ancêtres sauvages** qui ont été transformés lentement par des phénomènes de **sélection** pour aboutir à des plantes présentant des **caractères d'intérêt agronomique** (taille des fruits/graines, des tubercules ...).

Problématique : Comment retracer l'origine des plantes cultivées actuelles et comprendre leur avenir ?



Document 1 : Carte des principaux foyers de domestication (source GNIS) + doc 4p270 BELIN

<http://www.gnis-pedagogie.org/biodiversite-origine-espece.html>

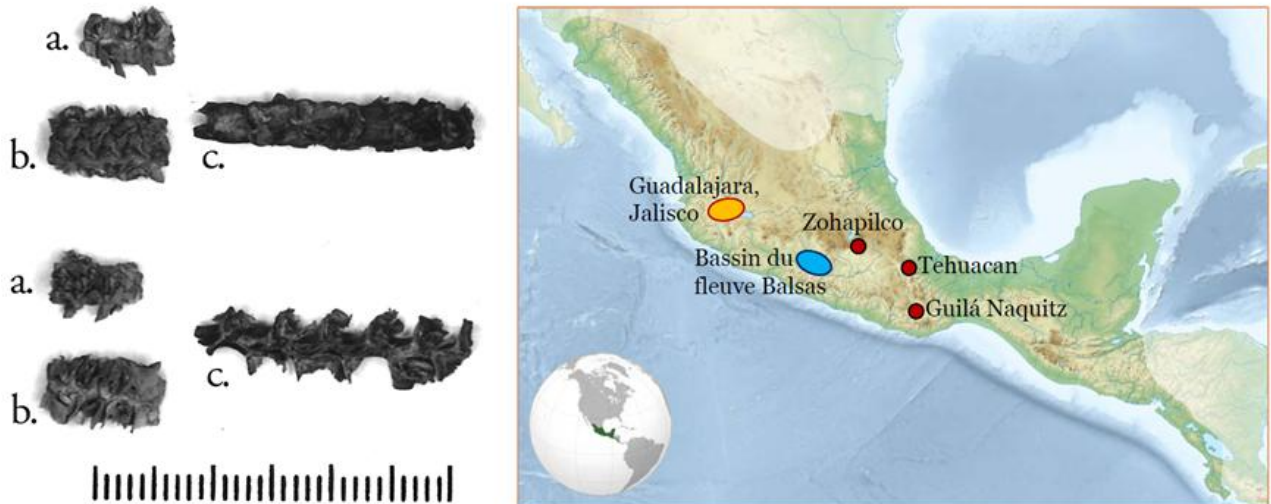
Plan :

- 1 – Les premières étapes de domestication
- 2 – La sélection scientifique des variétés
- 3 – L'amélioration des plantes (OGM)

4- Les enjeux pour l'Humanité

Des découvertes archéologiques :

Dans les années 2000, de nombreux Dolores Piperno et Kent Flannery identifient des échantillons fossiles de Maïs dont les caractéristiques sont assez variables. Ces échantillons sont datés de -6000 à -4250 ans. Leurs caractéristiques montrent que l'homme a participé à la modification de ces plantes en recherchant les variétés présentant les épis les plus grands et les plus fournis.

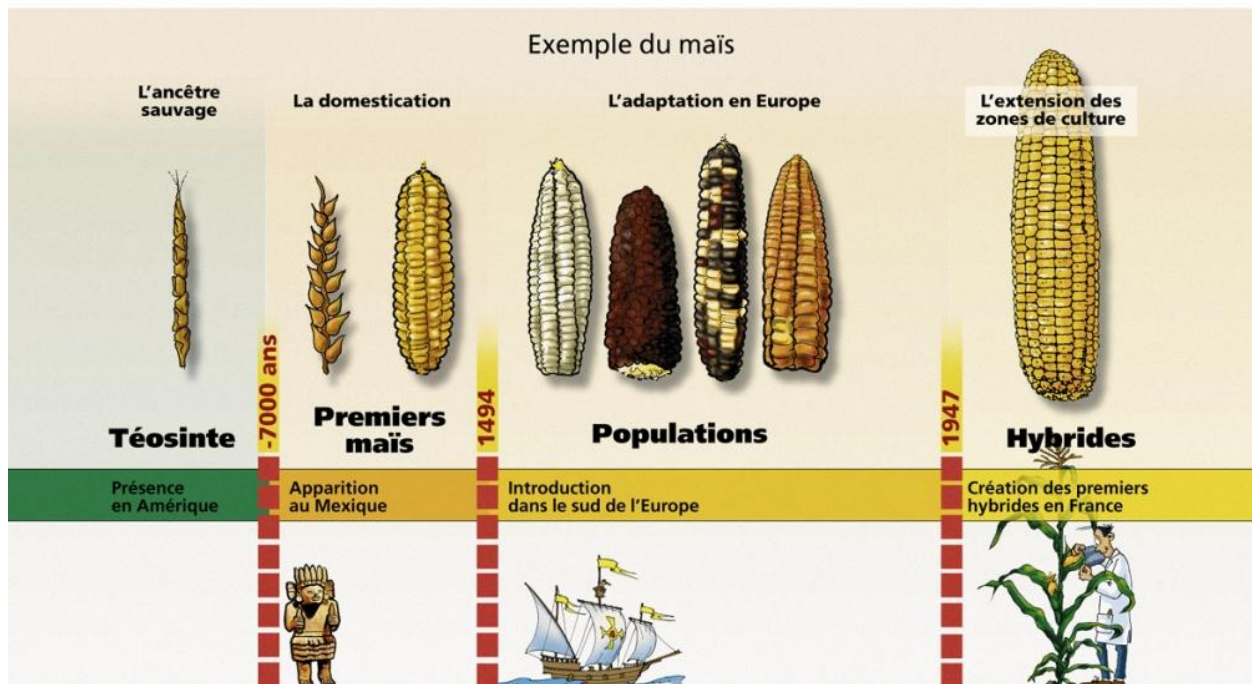


A gauche, la photographie montre ces 3 échantillons sous différents angles. L'échantillon a est plus ancien que b, lui-même plus ancien que c. A droite, une carte présentant l'emplacement du site.

Document 2 : Grains de maïs et épis fossilisés du site de Guila Naquitz (Mexique)



La sélection apparaît avec l'agriculture



Document 3 : Les étapes de domestication (GNIS)

[Voir TP6 : La carotte, une plante domestiquée](#)

I. La domestication des plantes par l'Homme

1- La domestication d'une plante sauvage : une sélection empirique

La recherche des origines d'espèces végétales cultivées comme le maïs, le riz ou le blé montre que celles-ci possèdent chacune un « ancêtre sauvage ». Les graines des plantes intéressantes ont été sélectionnées par l'Homme. Ex : voir tableau.

Cette sélection s'est faite de façon empirique (sans comprendre d'où proviennent les changements) et ce, principalement par sélection visuelle (stature de la plante, taille des grains ...). On parle de sélection massale dont le but est d'améliorer la valeur moyenne ou gain. Il s'agit donc de produire davantage pour obtenir plus de ressources.

Ainsi, les plantes domestiquées présentent la somme des caractères sauvages et des caractères issus de la domestication. Ces derniers sont souvent des caractéristiques paradoxales qui n'auraient normalement pas été apportées sans l'action de l'humain : on parle donc de syndrome de domestication.

Plante Caract.	Carotte		Fenouil		Epinard	
	sauvage	cultivée	sauvage	cultivé	sauvage	cultivé
Appareil caulinaire	Feuilles finement divisées	Feuilles finement divisées	Base de la feuille légèrement développée	Base de la feuille (pétiole) renflée/char nue	Feuilles plus longues que larges, forme triangulaire ou en fer de flèche, souvent ondulées sur les bords.	Feuille de grande taille, lisse
Appareil racinaire	Racine pivot Grêle Blanc-beige Ligneuse	Racine pivot Très développée Orange Souple et « juteuse »	Grêle (fin) Blanc-beige	Grêle (fin) Blanc-beige	Grêle (fin) Blanc-beige	Grêle (fin) Blanc-beige
Organe développé sous l'action de l'Homme	Le volume de la racine est particulièrement important chez la plante cultivée		Le volume de la base de la feuille est particulièrement important chez la plante cultivée.		La surface de la feuille est particulièrement importante chez la plante cultivée.	
Partie consommée par l'Homme	Racine		Bulbe		Feuille	

Document 4 : Tableau à double entrée comparant quelques plantes sauvages et leurs ancêtres supposés

Exemple	Comparaison	Plante ancestrale	Plante cultivée (domestiquée)
Carotte sauvage et cultivée La Carotte, <i>Daucus carota</i>, est une plante bisannuelle de la famille des Apiacées, on peut en trouver toute l'année.			
Fenouil sauvage et cultivé Le fenouil commun, <i>Foeniculum vulgare</i>, est une plante bisannuelle ou vivace, on peut en trouver toute l'année.			
Chénopode et épinard On peut trouver des chénopodiacées dans la nature ou chez certains maraîcher (Bio) (mais alors, ce n'est pas vraiment une plante sauvage).			
Téosinte et Maïs La téosinte est une plante endémique d'Amérique centrale (Mexique). Elle est très ramifiée et possède des épis de petite taille avec des grains très résistants. Enfin, les grains peuvent se détacher de l'épi chez la téosinte, ce qui n'est pas le cas chez le Maïs.			
Engrain et blé tendre L'ancêtre du blé tendre est l'engrain qui conserve ses glumes (sorte de feuilles entourant les grains) à maturité. De plus, les grains se détachent facilement de l'épi chez l'engrain, ce qui n'est pas le cas chez le blé.			

Document 5 : Tableau à double entrée comparant quelques plantes sauvages et leurs ancêtres supposés

2- Des différences génétiques modérées

Les différences génétiques restent toutefois assez modérées chez la plupart des plantes cultivées qui sont souvent encore interfécondes avec l'ancêtre supposé. C'est notamment le cas entre le maïs et la téosinte mais aussi avec les variétés de carotte.

Ex : Maïs

L'analyse du maïs et de son ancêtre supposé (la téosinte) montre que les différences génétiques sont relativement restreintes. L'analyse génétique de Beadle permet de déterminer que seuls 4 à 5 groupes de gènes (Attention aux gènes liés !) semblent impliqués dans les différences maïs-téosinte. Chez le maïs, 2 gènes sont particulièrement intéressants :

- Le gène TB1 (teosinte branched 1) dont l'action est de réprimer la formation des bourgeons axillaires. Les allèles de TB1 sont très semblables et la protéine produite est fonctionnelle dans les 2 cas. Néanmoins, l'expression de TB1 est très forte au niveau des méristèmes axillaires chez le maïs (très faible chez la téosinte).

- Le gène TGA1 (teosinte glume architecture1) dont l'action serait de réduire l'épaisseur de la cupule entourant le fruit. Les allèles de TGA1 sont mutés : la lysine présente dans la protéine tga1 du téosinte est remplacée par l'asparagine dans la protéine du maïs. Cette mutation changerait la fonction de la protéine.

Ex : Carotte

La principale différence entre la carotte sauvage et les variétés ancestrales concernent les gènes à l'origine de l'architecture de la racine et les gènes contrôlant la production de carotène (alpha ou bêta). Pour ces derniers, les gènes PSY1 et PSY2 semblent avoir connu un « gain de fonction » : inactifs chez la variété ancestrale, ils ont subi des mutations conduisant à leur activité dans la racine de la carotte.

3- L'appauvrissement de la biodiversité spécifique

Au fil des années, la sélection de ces variétés de plantes et l'absence de reproduction avec la variété ancestrale ont contribué à modifier lentement le génotype et le phénotype.

Une espèce cultivée présente souvent de nombreuses variétés (forme de biodiversité). Cette diversité résulte de mutations dans des gènes particuliers mais généralement peu nombreux. Malgré la présence de variété, il y a quand même une réduction de la biodiversité spécifique (de l'espèce) : les plantes sont plus semblables (sélectionnées), leurs cycles sont plus homogènes de façon à être rentables pour l'Homme. On parle de sélection artificielle : elle est réalisée par l'Homme et ne conserve pas nécessairement des caractères avantageux pour la plante. Ceci pose de nombreux problèmes en regard du développement de maladies.

Ex : Maladie de Panama, champignon de la souche TR4 & bananes Cavendish (6p273 BELIN)

Ex : Xylella fastidiosa (bactérie tueuse d'olivier).

4- Une dépendance vis-à-vis de l'homme

Cette perte de biodiversité dans l'espèce cultivée rend la plante mal adaptée à la vie sauvage et nécessite une action permanente de l'Homme pour maintenir ces espèces. Il y a donc un mutualisme entre l'Homme et les plantes domestiquées : cet échange réciproque permet à la plante de se développer et à l'Homme d'obtenir des ressources (principalement alimentaires).

Ex : les épis de maïs ont été sélectionnés pour éviter la chute des grains : il est impossible au maïs de faire germer ses grains seul.

Rapidement, deux variétés de carottes se distinguent doucement : celle de l'Est et l'autre de l'Ouest.

A l'Antiquité : Les grecs et les romains reconnaissent à la carotte une valeur thérapeutique (notamment pour l'acuité visuelle), mais ne l'apprécient guère comme légume. C'est qu'à cette époque, leurs carottes devaient avoir une couleur blanchâtre, une peau assez coriace, et un cœur fort fibreux. Le naturaliste romain Pline l'ancien, dans son encyclopédie « l'Histoire naturelle » mentionne la carotte sous le nom de *Pastinaca Galtica*, appellation que l'on retrouve aujourd'hui encore dans certaines régions de France, ou la « pastenade » n'est autre que la carotte.

Xe siècle : La carotte est domestiquée à l'Est. Encore présente aujourd'hui en Asie, elle est souvent violette (due à la présence d'anthocyanes) ou jaune et a parfois une racine branchée.

Moyen Âge : la carotte sauvage a une couleur blanchâtre, une peau assez coriace et un cœur fibreux. Elle n'apparaît jamais, comme toutes les « raves » (plantes cultivées pour leurs racines charnues comestibles), parmi les aliments nobles. Cependant c'est un légume très consommé, comme le panais, car peu coûteux.

XIIIe siècle : À l'ouest, la carotte se retrouve au XIIIe siècle dans un recueil culinaire, non pas en tant que légume mais comme plante aromatique. La carotte était une épice avant d'être un légume.

1393 : L'auteur du « Mesnager de Paris », rédigé en 1393, décrit les carottes comme « des racines rouges que l'on vend aux halles par poignées ».

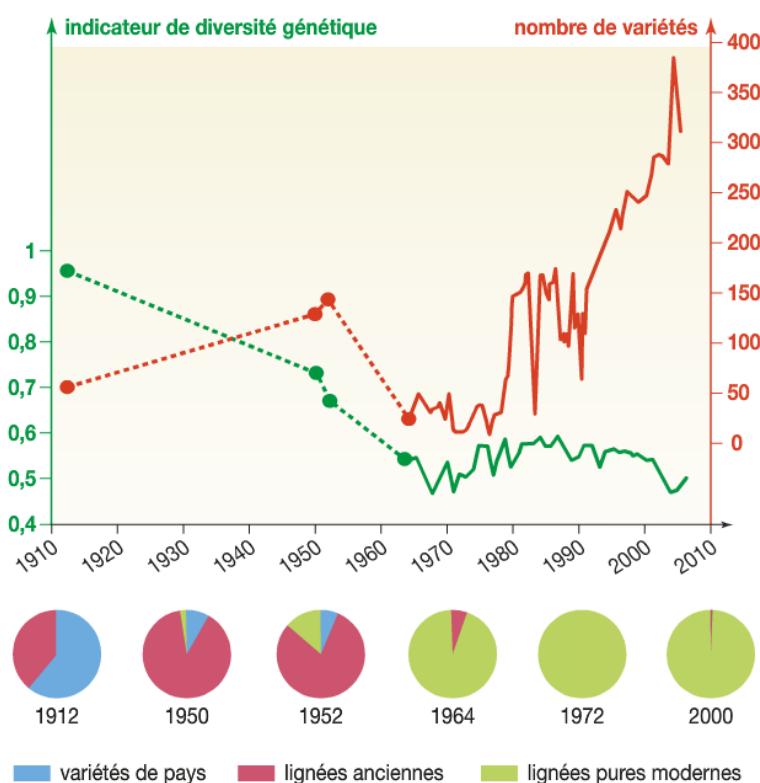
XVe siècle : Les français, les allemands et les hollandais commencent à cultiver les carottes. Ils délaissent peu à peu la variété mauve car elle perd de sa saveur dans les terres au climat tempéré d'Europe occidentale. En même temps, la variété jaune connaît la faveur populaire grâce à la facilité avec laquelle on la fait croître. Son goût devient de plus en plus prononcé.

XVIe siècle : En Europe, on connaît des variétés à chair ou à peau blanche, jaune, rouge, verte, pourpre et noire, mais pas de carottes oranges. La carotte orange est le produit d'une intervention humaine. Des hollandais désireux de montrer leur fidélité à la Maison d'Orange, une principauté protestante de France, croisent au XVIe siècle des variétés à chair rouge et à chair blanche et finissent par obtenir une racine d'un bel orange lumineux. C'est la première carotte charnue, dite la « Longue Orange ». Cette nouvelle venue ne tarde pas à supplanter toutes les autres et les sélectionneurs se concentrent exclusivement sur elle pour créer les nombreuses variétés modernes, à racine ronde ou conique, et plus ou moins large et longue selon leur usage.

1564 : Apparu dans la langue française en 1564, le terme « carotte » vient du latin *carota* qui fut emprunté au grec *karôton*.

1565 : La carotte européenne a été importée en Amérique et en 1565, on sait qu'elle était cultivée au Venezuela. Les amérindiens adoptent ce curieux légume-racine. Ainsi, lors de la construction du chemin de fer américain, des ouvriers se plaignaient que les amérindiens Flathead de l'Orégon les attaquaient pour leur voler leurs carottes, au goût irrésistible.

1910 : La découverte du carotène et de ses bienfaits, par les chercheurs contribue à populariser la carotte aux Etats Unis. Avant cela, elle servait surtout de nourriture pour le bétail et de friandise pour les chevaux.



Document 6 : Domestication de la carotte et diversité génétique

II. Une sélection scientifique des variétés cultivées

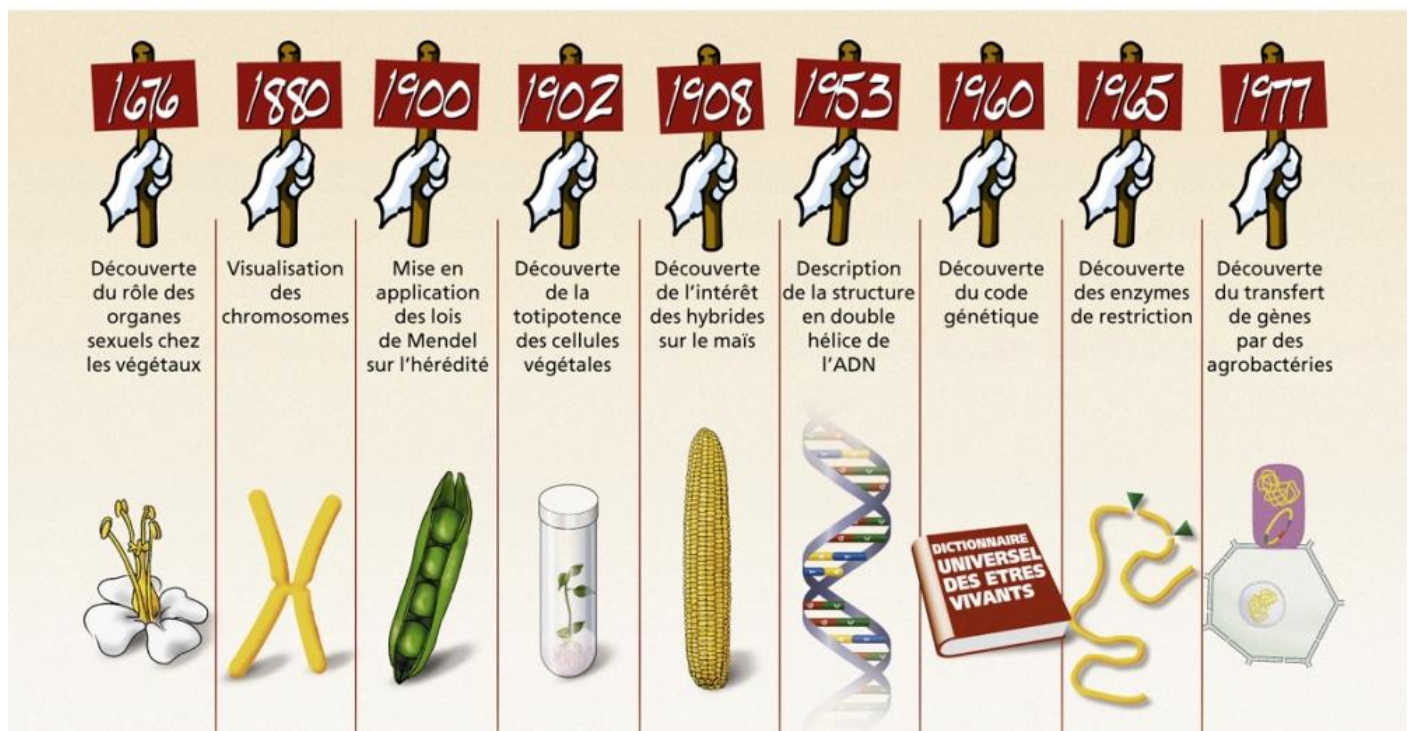
1- Les apports de la biologie

Dès le XVI^{ème} siècle, les plantes cultivées deviennent un enjeu scientifique et politique. Ces variétés sont diffusées dans le monde. Les avancées scientifiques vont permettre d'optimiser encore les qualités agronomiques de ces plantes, notamment :

- En 1676, la découverte du rôle sexuel des étamines et du pistil permet d'envisager les croisements dirigés entre des plantes d'intérêt.
- De 1880 à 1910, la découverte (et redécouverte des lois de Mendel) permet d'envisager que les caractères d'intérêt sont portés par des gènes, eux même portés par les chromosomes (Morgan). Ceci facilite le travail d'analyse de croisement et d'obtention de plantes d'intérêt.
- Enfin, de 1953 à l'actuel, la découverte de l'ADN et son fonctionnement permet d'envisager de manipuler le génome et de produire des OGM avec des caractéristiques fixées par l'homme.



Les repères historiques de la sélection



Document 7 : Les découvertes scientifiques et la sélection des plantes

<http://www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-amelioration-histoire-selection.html>

2- L'obtention de lignées

Les sélectionneurs ont œuvré de façon à identifier les variétés intéressantes. Pour obtenir une plante stable, ils ont alors réalisé des séries d'autofécondation couplées à des tris des plantes produites. En une dizaine de générations, ils ont obtenu des lignées pures (variétés lignées) qui sont génétiquement homogènes et stables. Ainsi, ces variétés peuvent être commercialisées.

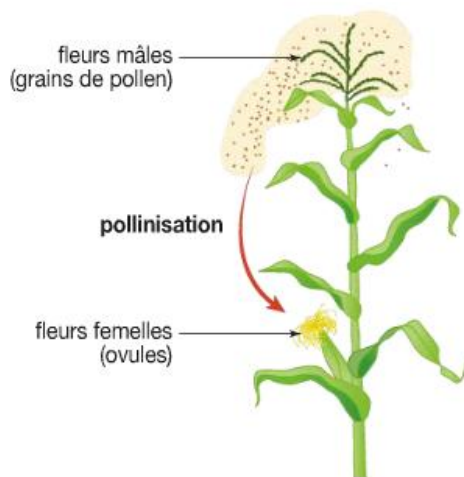
Néanmoins, certaines plantes sont affaiblies par la forte homozygotie de leur génome. Des croisements entre lignées pures distinctes permettent de retrouver des plantes vigoureuses, phénomène qui a été décrite comme la « vigueur hybride » ou « hétérosis ».

1. Sélection de départ

Le sélectionneur choisit des plantes dans une population hétérogène (variété de pays) ou dans une population issue d'un croisement préalable.

2. Obtention de lignées pures

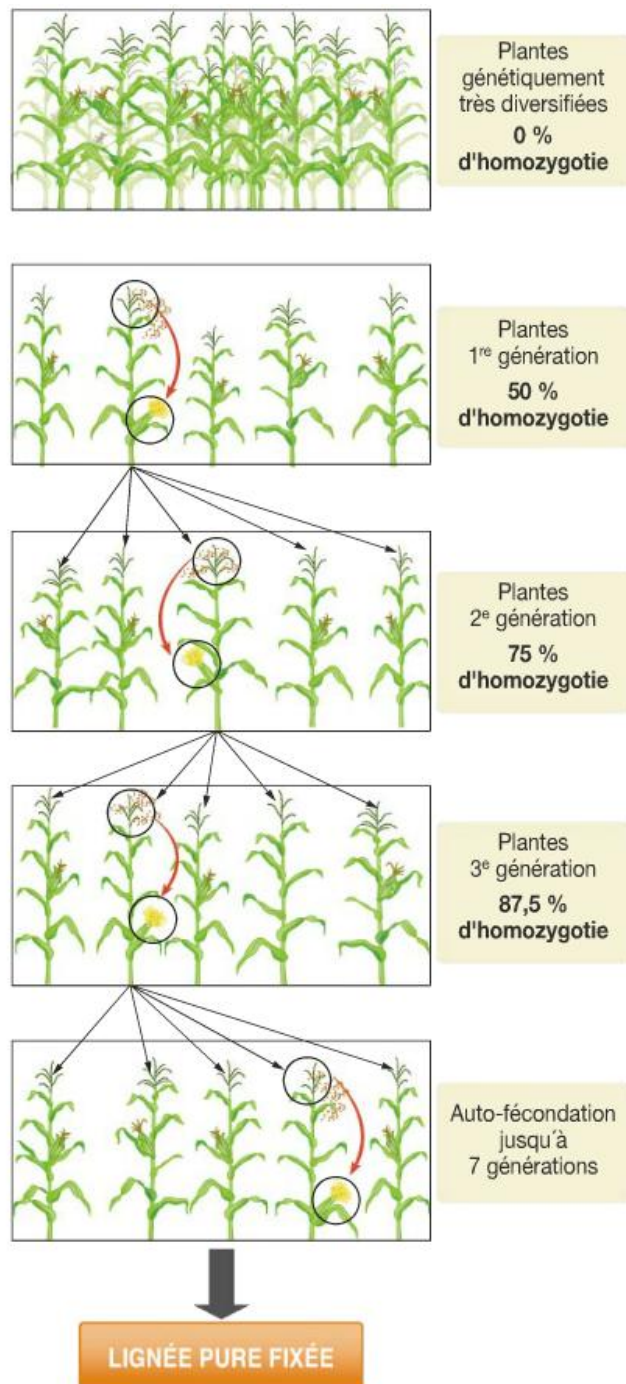
Le sélectionneur provoque l'autofécondation des plantes pour augmenter peu à peu leur taux d'homozygotie.



Pour obtenir des plantes complètement homozygotes, il faut forcer artificiellement, pendant de nombreuses générations, les plantes de la variété paysanne à recevoir leur propre pollen, tout en évitant l'arrivée de pollens étrangers. À chaque génération, les plantes deviennent plus faibles, plus fragiles. Cet effet dépressif est une conséquence directe de l'augmentation de leur taux d'homozygotie qui masque les qualités potentielles des plantes.

C'est pourquoi tous les individus d'une même génération sont également croisés avec une lignée de référence : on obtient des descendants plus vigoureux, dont certains peuvent exprimer des qualités remarquables. Seules les plantes ayant engendré les meilleurs descendants lors de ce test sont alors retenues pour poursuivre la sélection.

Les principaux critères de sélection sont la précocité, la résistance aux maladies, aux effets du vent et de la sécheresse, l'aspect général de la plante, les qualités de l'épi et des grains.



Document 8 : La production de lignées et les hybrides F1

III. L'amélioration des plantes et l'apport des sciences

1- Les apports de la culture *in vitro*

Dès le début du XX^{ème} siècle, les chercheurs ont réussi à développer des milieux de culture permettant faire pousser des plantes. Grâce à différentes hormones végétales, il est même possible de reformer une plante entière à partir de quelques cellules. Ceci permet de reproduire des lignées à l'identique sans passer par une étape de reproduction sexuée. La culture *in vitro* est parfois utile pour sauver des plantes attaquées par des parasites.

2- Les apports de la mutagenèse

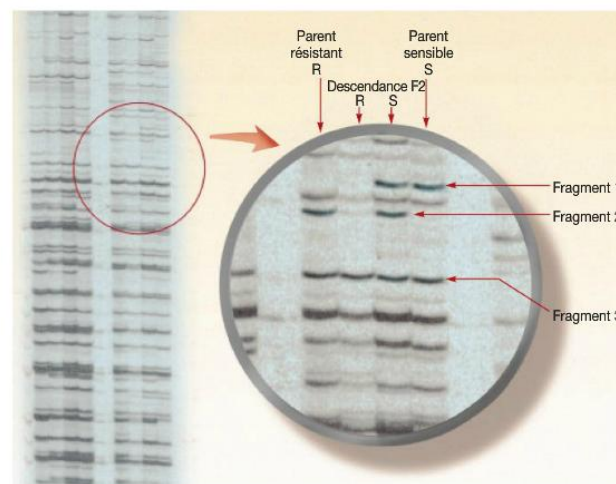
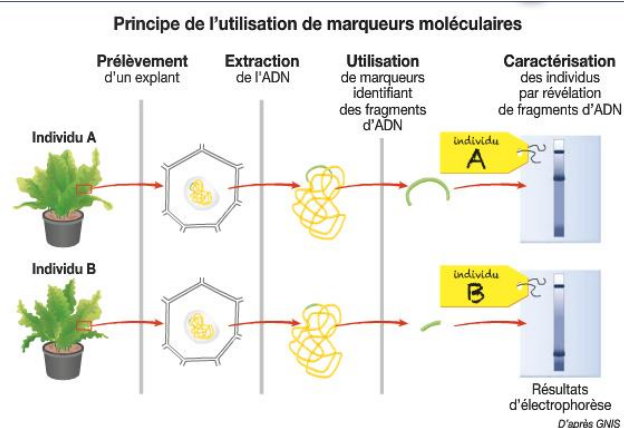
Dans le même temps, les chercheurs ont tenté d'identifier des gènes intéressants au sein des plantes cultivées. Pour cela, ils ont réalisé des expériences de mutagenèse et ont identifié les gènes affectés. Ceci permet d'obtenir des variétés présentant des caractères nouveaux.

3- Les apports de la sélection par marqueur

De 1950 à 1970, la manipulation de l'ADN devient de plus en plus complexe. En premier lieu, il est possible de séparer des fragments d'ADN selon leur taille par électrophorèse. Puis l'identification des enzymes de restriction des bactéries rend possible la fragmentation de l'ADN au niveau de séquences spécifiques. Ceci permet d'identifier des marqueurs moléculaires associés à un caractère (voir doc 2 p 267).

• La découverte de la structure de l'ADN, dans les années 1950, a ouvert la voie à l'étude très précise du génome des plantes cultivées. On a ainsi mis au point des techniques de marquage moléculaire. Un **marqueur moléculaire** est une sorte d'étiquette associée à un secteur d'une molécule d'ADN. Sa présence peut être révélée par l'**électrophorèse** des fragments d'ADN obtenus après digestion par des **enzymes de restriction**. Selon le génotype des cellules, les bandes correspondant aux divers fragments d'ADN pourront exister ou non et occuperont des positions variables sur le gel d'électrophorèse. Le repérage de ces bandes permet donc de connaître le génotype de la plante étudiée.

• La sélection assistée par marqueurs est aujourd'hui couramment utilisée, car elle permet de gagner plusieurs années dans le processus de création variétale. L'*illustration ci-contre* en donne un exemple. On croise une variété de tournesol sensible au **mildiou** [S] et une variété résistante à cette maladie [R]. Pour trier, parmi les **plantules** issues de ce croisement, celles qui sont porteuses du gène de résistance au mildiou, on peut les cultiver et comparer leurs phénotypes... mais cela prendra plusieurs mois. On peut aussi comparer directement leurs génotypes en utilisant un marqueur moléculaire lié au gène de résistance. Le fragment 1 caractérise le gène de sensibilité au mildiou. Les fragments 2 et 3 sont indépendants de ce caractère.



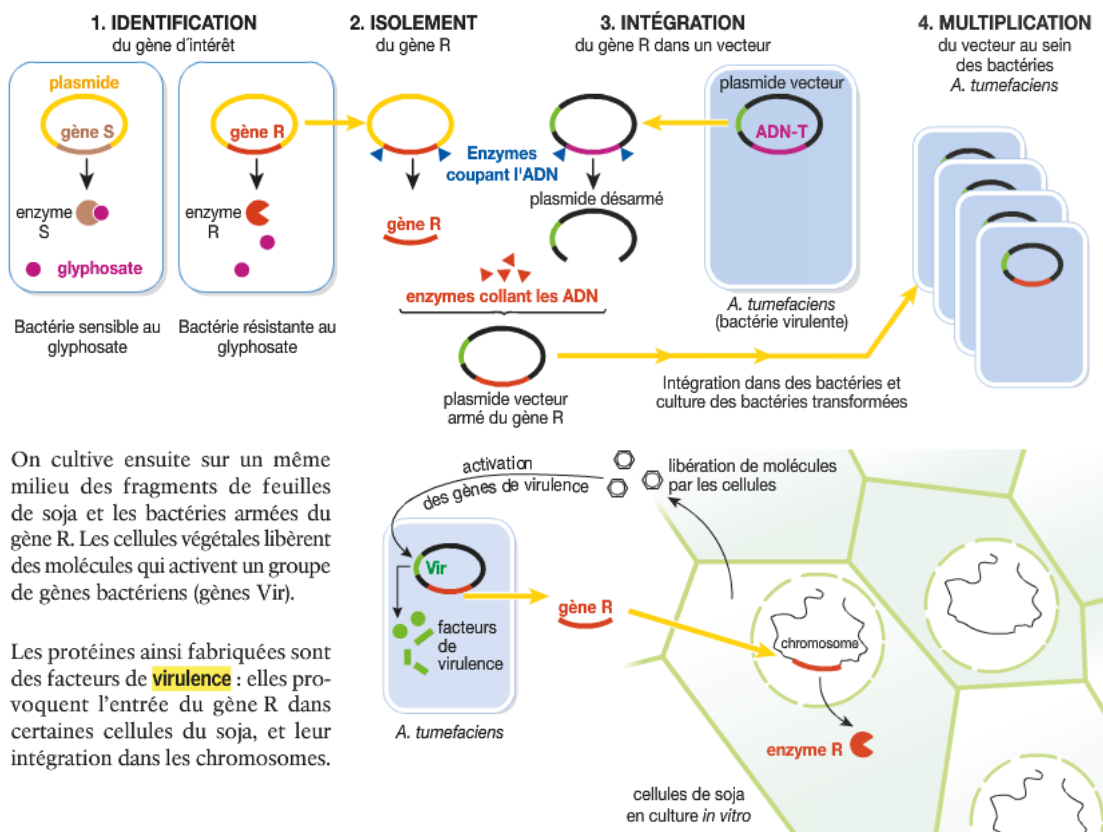
Document 9 : les marqueurs moléculaires et les gènes d'intérêt agronomiques

4- L'apport du génie génétique

Dans les années 1990, les chercheurs découvrent différentes possibilités pour transférer de l'ADN entre les êtres vivants et sont alors capables de former des OGM (Organismes Génétiquement Modifiés). Voir doc 1 et 2 p268.

La technique de **transgénèse** la plus courante repose sur la capacité naturelle d'une bactérie du sol (*Agrobacterium tumefaciens*) à infecter les cellules végétales en transférant, dans leurs chromosomes, un segment de **plasmide** : l'ADN-T. On peut remplacer *in vitro* l'ADN-T par n'importe quelle autre séquence d'ADN. Le plasmide pourra ainsi servir de **vecteur** pour transférer un **gène d'intérêt** à des cellules végétales. C'est ce qui a été fait pour rendre une variété de soja tolérante au glyphosate. Cet herbicide agit en se fixant sur

l'enzyme S, d'importance vitale pour toutes les plantes. On a découvert que certaines bactéries sont tolérantes au glyphosate, car elles possèdent une enzyme R, comparable à l'enzyme S, mais sur laquelle le glyphosate ne peut se fixer. On a donc « armé » des plasmides d'*A. tumefaciens* avec le gène de l'enzyme R. Les bactéries *A. tumefaciens* ainsi préparées sont cultivées pour disposer d'un grand nombre de plasmides vecteurs, avant de les mettre en présence des cellules du soja.



Document 10 : Identifier et transférer un gène d'intérêt dans une plante

Ces techniques ouvrent de nombreuses perspectives :

- Une meilleure compréhension du fonctionnement des gènes (introduction de gènes modifiés, de gènes supplémentaires, réalisation de collections de mutants ...) : c'est la **recherche fondamentale**.
- L'obtention rapide d'une nouvelle variété, indépendamment de la reproduction : c'est la **recherche appliquée**.
- La possibilité de transférer des caractères d'espèces distinctes (bactéries, plantes, animaux, champignons) : c'est l'**amélioration des plantes** (recherche appliquée)
- La possibilité de produire des molécules pharmaceutiques en utilisant des cellules modifiées.

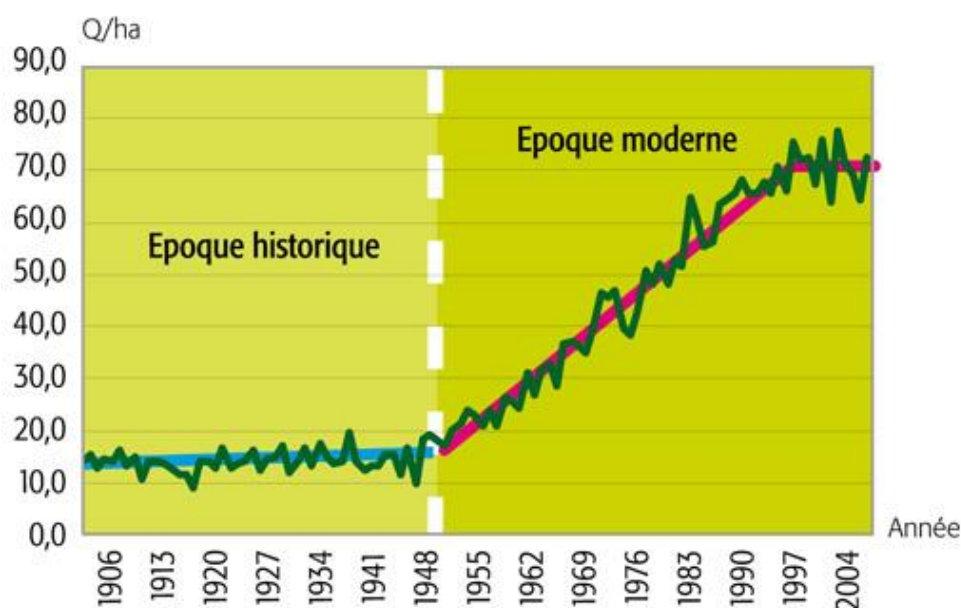
IV. Les enjeux des plantes cultivées

1- Nourrir la planète

En un siècle, les progrès scientifiques ont permis d'obtenir des plantes toujours plus productives et des moyens de culture plus sophistiqués (tracteurs, moissonneuses ...). La productivité est passée de 10 Q/ha à près de 70 à 90 Q/ha. Néanmoins, ces valeurs sont très hétérogènes car les rendements en Afrique sont toujours de l'ordre de 10Q/ha.

Concernant le maïs, quatre grands centres assurent 80 % des disponibilités mondiales :

- Les Etats-Unis (228 millions de tonnes)
- La Chine (123 millions de tonnes)
- L'Europe (70 millions de tonnes)
- L'Amérique du Sud (58 millions de tonnes)



Document 11 : Graphique de la production agricole (quintal/hectare) depuis 1900

2- Les enjeux du développement durable : environnement et biodiversité

Le génie génétique permet une adaptation rapide des caractéristiques des plantes aux défis du monde actuel. Des ravageurs comme la pyrale détruisent en moyenne 10% des récoltes (et jusqu'à 50% dans certaines régions aux USA). L'utilisation de maïs OGM permet de limiter l'action du ravageur de façon ciblée et d'éviter l'emploi d'intrants (pesticides) dont l'action est plus aléatoire (dispersion, action sur de nombreux êtres vivants, pollution).

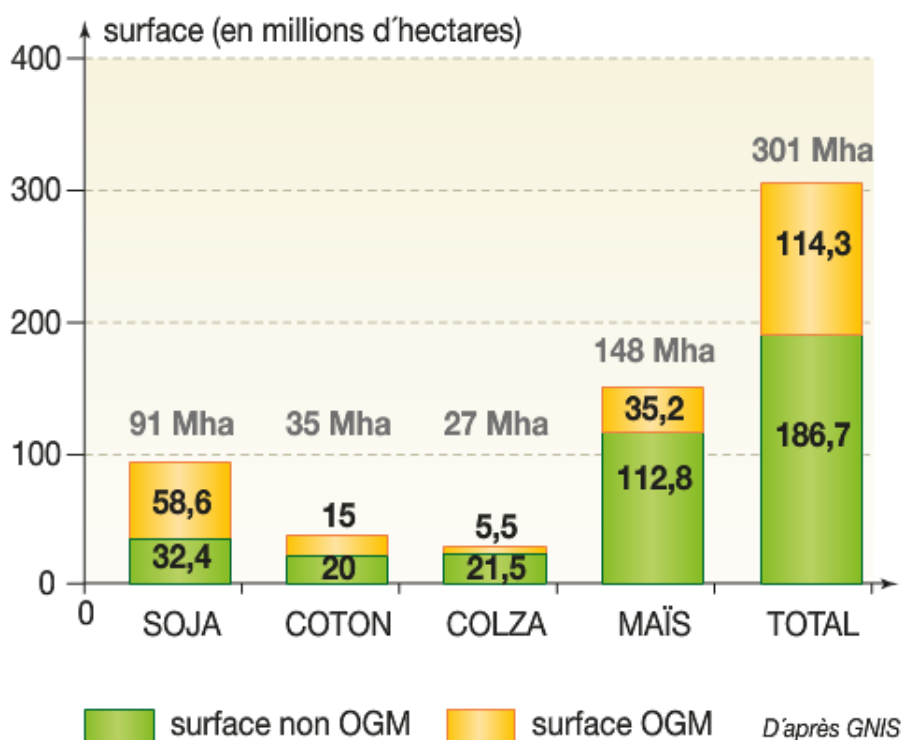
Néanmoins, la biodiversité des plantes cultivées a fortement diminué pour se concentrer sur les variétés les plus productives. Les sélectionneurs sont actuellement en train de réhabiliter les variétés paysannes de façon à introduire certains caractères et renouveler la diversité génétique de nos plantes cultivées.

Enfin, les brevets et les lois protègent les industriels producteurs de semences. Ceci implique que les agriculteurs doivent acheter des semences très régulièrement (leurs hybrides sont obtenus à partir du croisement de 2 lignées pures par le semencier). Le statut juridique de la biodiversité des plantes cultivées pose problème : doit-on considérer que chaque gène peut être la propriété ou un brevet d'un groupe industriel ou doit-on envisager ces plantes comme un bien commun de l'humanité ?

3- Les risques de la manipulation génétique

L'utilisation des OGM est soumise à de nombreux tests et procédés de validation. Malgré tout, l'utilisation des OGM à long terme pourrait avoir des effets sur les êtres vivants et sur l'environnement.

En termes de santé, les agences de sécurité sanitaires surveillent les populations de façon à être alertés de pathologies suspectes (travail d'épidémiologie : voir 1S). Les OGM sont cultivés aux USA depuis 1995 et consommé dans l'alimentation animale et humaine sans qu'on ait constaté de pathologies émergentes mais les associations entre pathologies et causes alimentaires sont très difficiles à établir (voir 1S).



Document 12 : Graphique de la part des surfaces de cultures OGM pour 4 espèces

D'autres études sont également en cours mais sont souvent tiraillées par des conflits d'intérêt (lobby pro-OGM comme Monsanto ou anti-OGM comme Greenpeace). La publication de GE Séralini en 2012 en est un exemple. Cet auteur a publié un article concernant la nocivité supposée des maïs OGM Monsanto mais l'article a été rétracté l'année suivante. Néanmoins, la publication de l'article a fait grand bruit dans les médias alors que sa rétractation est passée inaperçue. Entre temps, le public aura retenu que les OGM sont dangereux, sans aucune base scientifique tangible.

En terme environnemental, les OGM pourraient représenter des conséquences plus graves, notamment l'altération de la biodiversité (pyrale en déclin), la diffusion des transgènes à d'autres espèces (transferts horizontaux de gènes vers d'autres plantes, vers des bactéries ...). De plus, les OGM pourraient constituer une pression de sélection favorisant l'apparition d'êtres vivants résistants (pyrale résistante à la toxine Bt ?). Les recherches actuelles n'ont jamais pu montrer clairement ces émergences de résistances (données obtenues en laboratoire sur 26 générations de maïs Bt cultivés avec des pyrales).