



# LA PLANTE DOMESTIQUEE

Elodie GAULIN UM5546, Auzeville  
gaulin@lrsv.ups-tlse.fr



Université  
Paul Sabatier  
TOULOUSE III



Laboratoire de Recherche en Sciences Végétales

# Objectifs et programme

## OBJECTIFS ET PROGRAMME (d'après prérogatives ministère) Thème 2B 'La plante domestiquée'

Connaissances	Capacités, attitudes
<p>La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu (volontairement ou empiriquement) des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages. Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité. Les techniques de croisement permettent d'obtenir de nouvelles plantes qui n'existaient pas dans la nature (nouvelles variétés, hybrides, etc.). Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées.</p> <p><i>Objectifs et mots-clés. Il s'agit de montrer les différentes modalités d'action humaine sur les caractéristiques génétiques des plantes cultivées.</i></p> <p><i>[Limites. Les éléments scientifiques introduits ici permettent un débat sur l'usage de telle ou telle méthode, mais il n'entre pas dans les objectifs de l'enseignement scientifique de trancher, à lui seul, la controverse.]</i></p> <p><i>Convergences. Histoire des arts : la modification des aliments de l'Homme au travers de leur représentation picturale. Histoire et géographie : histoire des plantes cultivées et des civilisations.</i></p>	<p>Comparer une plante cultivée et son ancêtre naturel supposé. Recenser, extraire et exploiter des informations afin de comprendre les caractéristiques de la modification génétique d'une plante.</p> <p><b>!! 3h CM 2h TD !!!</b></p>

**TD disponible sur [silico.biotoul.fr](http://silico.biotoul.fr)  
rubrique Enseignement → M1 MEEF**

**TD 20 janvier 2016 8h-10H/10h15-12h15**

# Plan

## Rappel: L'utilisation des Plantes par l'Homme

### I. Des plantes sauvages aux plantes domestiquées

### II. Différentes techniques d'amélioration des plantes : de la sélection empirique aux biotechnologies modernes

#### II.1 Méthode empirique

- Sélection massale

#### II.2 Méthodes pour rechercher des variétés homogènes et productives

- Hybridation et sélection
- Rétrocroisement
- Transgénèse (organismes génétiquement modifiés OGM)

## Mots clés a connaitre !

Agrobacterium

Allogamie

Autofecondation

Autogamie

Biolistique

Cal

Domestication

Syndrome de Domestication

F1

Gène d'intérêt

Gène marqueur

Hybride

OGM

Protoplaste

Sélection massale

Transgenèse

Variété

Vecteur (plasmide)

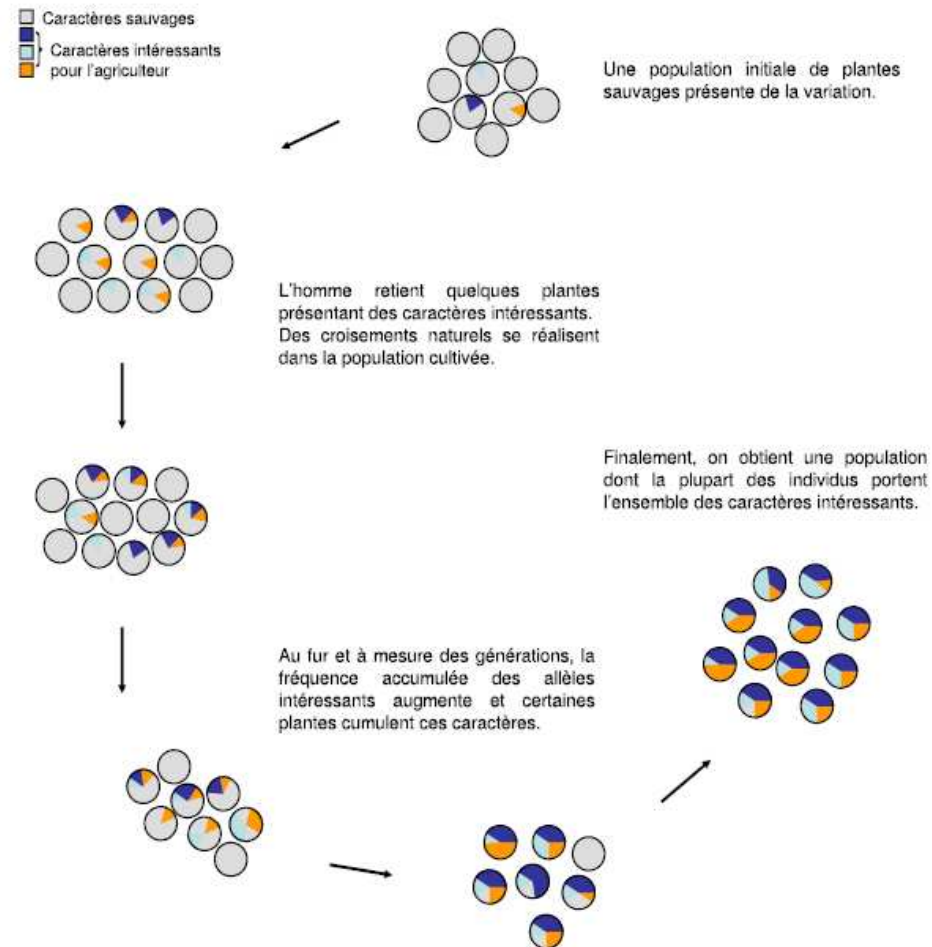
# L'utilisation des plantes par l'Homme

- en **agriculture** : nourrir l'humanité directement ou indirectement (nourrir le bétail)
- en **médecine** : médicaments
- dans l'industrie : **textile** : (coton), **énergie** (bois de chauffe), **construction** (bois), **alimentaire** (arômes, huiles essentielles...) , énergie renouvelable (bioplastique...), agronomie (bioprotectant, SDN..)



**enjeu majeur pour L'Homme**

# I. Des plantes sauvages aux plantes domestiquées

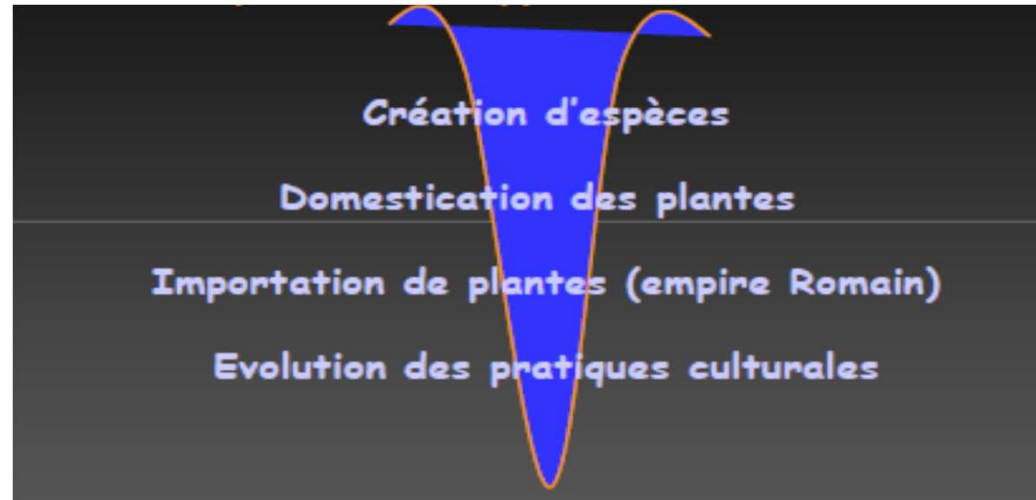


Les plantes cultivées sont toutes issues de plantes sauvages.

Le processus qui conduit de la forme sauvage à la forme cultivée se nomme

 **'la domestication'**

\* -3300 à 476 (depuis l'apparition de l'homme jusqu'à la fin de l'antiquité) : pas de réelle amélioration



- \* **Moyen âge (476 à 1492)** : Début découverte des lois de l'hérédité
- \* **XVIIIème** : Mise en évidence des lois de l'hérédité

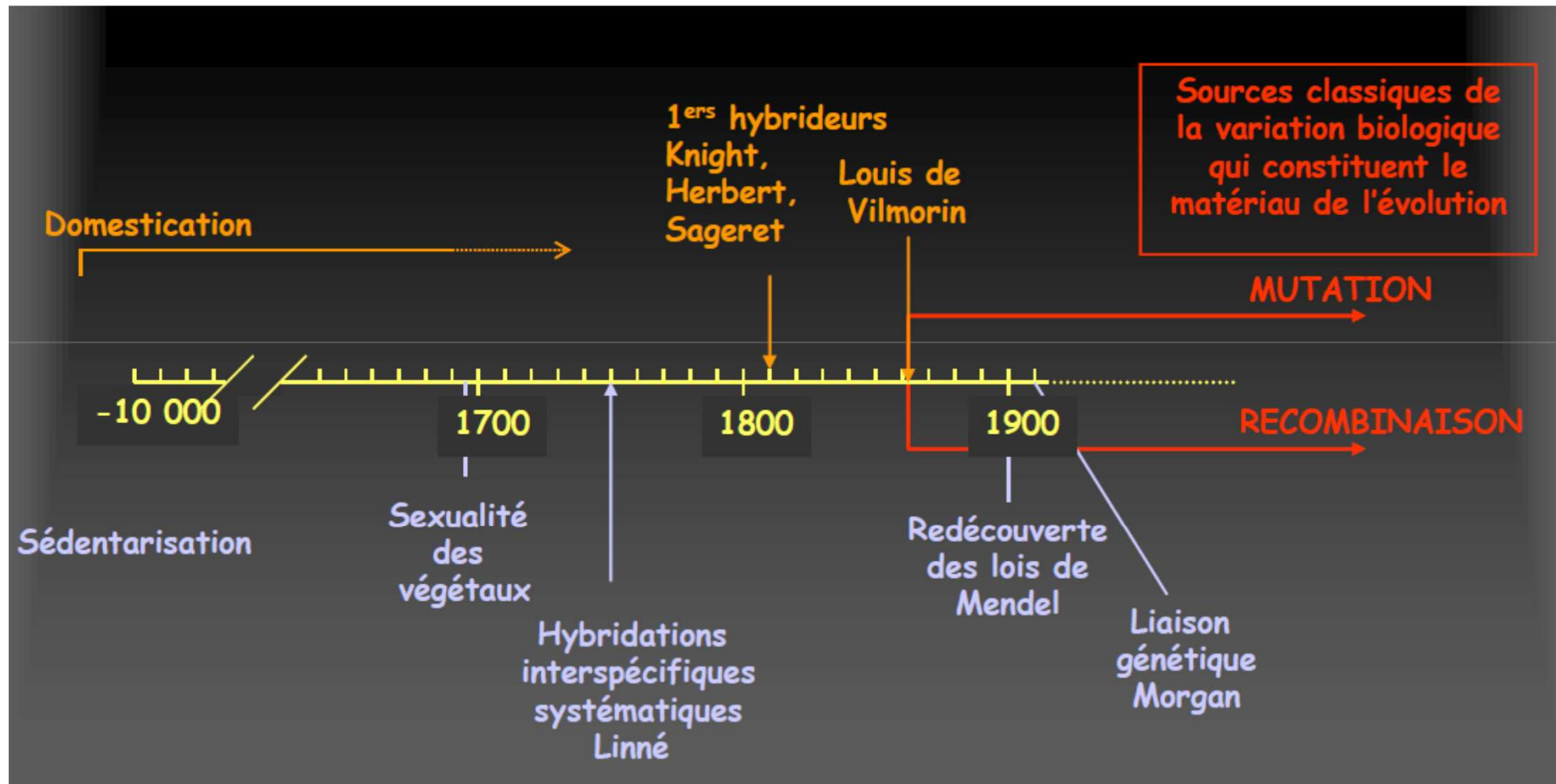
Carl VON LINNE (1707-1778): nature sexuée des plantes, définition des espèces, classification (caractère sexuel)

→ Hybridations possibles entre plantes ??

Josef Gottlieb KOLREUTER (1733-1806): importance insecte pour pollinisation, première expériences d'hybridation

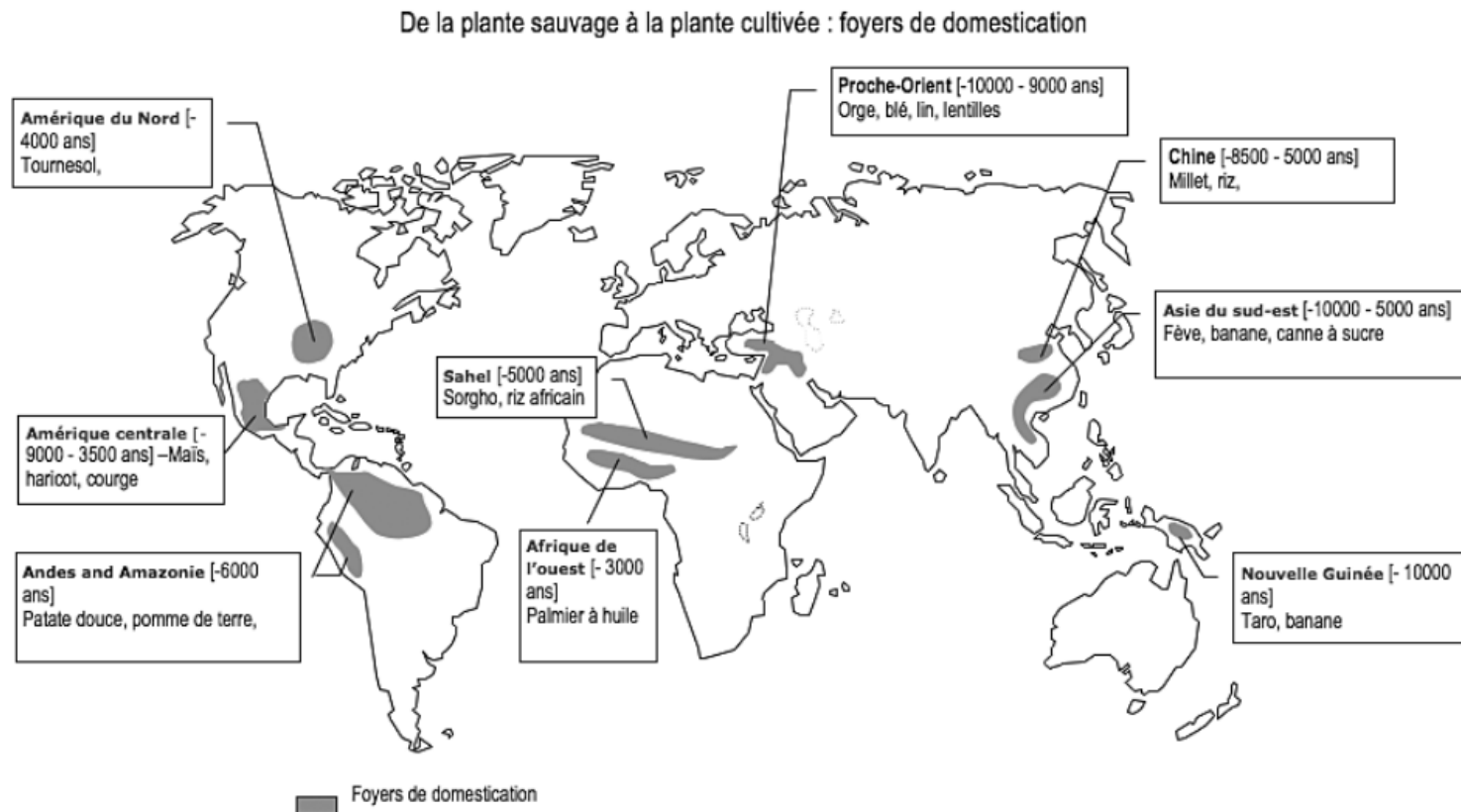
Johan Gregog MENDEL (1822-1884) : lois de l'hérédité







# L'origine des Plantes cultivées : 'foyer de domestication'



Plantes utilisées dérivent d'espèces sauvages locales

Existence de 'foyer de Domestication'

- Blé, orge, céréales secondaires → Proche-Orient
- Maïs → Amérique Centrale
- Riz → Asie

Chaque espèce cultivée est issue de la modification par l'Homme d'espèces sauvages.

→ Apparition de nouveaux caractères qui distinguent une espèce cultivée d'une espèce sauvage.

<b>Caractères qui facilitent la culture</b>	<b>Port des plantes moins ramifié</b> <b>Synchronisation de la date de floraison</b> <b>Perte de dormance des semences</b> <b>Perte de caducité des graines</b>
<b>Caractères qui améliorent l'utilisation alimentaire</b>	<b>Graines nues</b> <b>Graines plus grosses</b> <b>Graines plus riches en glucides</b>
<b>Caractères qui améliorent l'utilisation industrielle</b>	<b>Structures des farines</b> <b>Qualité des fibres et des bois</b> <b>Qualité des huiles</b>

 **'syndrome de domestication'**

# I. Des plantes sauvages aux plantes domestiquées

## Domestication

- . Basée sur la variabilité génétique des plantes
- . Identification par l'Homme et choix des caractères favorables (morphologiques)
- . Modifications majeurs: architecture de la plante + propriétés des grains

*Exemple: du maïs et du blé*

# Comparaison entre le maïs (*Zea mays*) et son ancêtre supposé la Teosinte

Architecture des inflorescences femelles. Photographies personnelles de Monsieur Julien Greffier.



## Maïs

- Aujourd'hui dans presque toutes les régions du monde
- Troisième céréale du monde
- A la base de l'alimentation d'une grande partie de la population mondiale

Structure et composition des grains

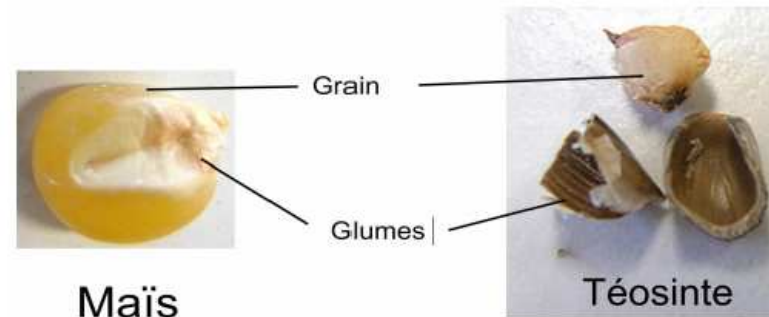
Masse des grains :  
10 grains de Maïs = 2.7g  
10 grains de Téosinte = 0.6 g



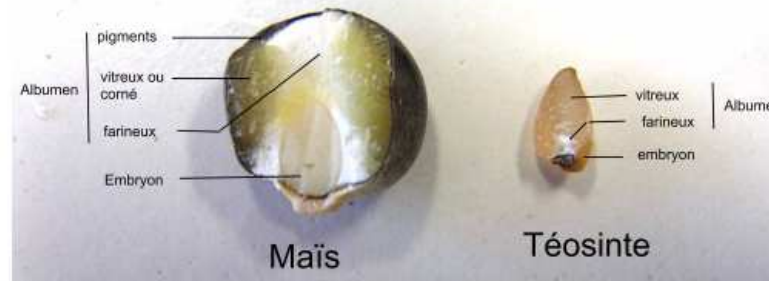
**Ancêtre = téosinte**

- Nombreuses branches latérales avec inflorescences mâles
- Petits épis, petits grains
- Enveloppe très dure

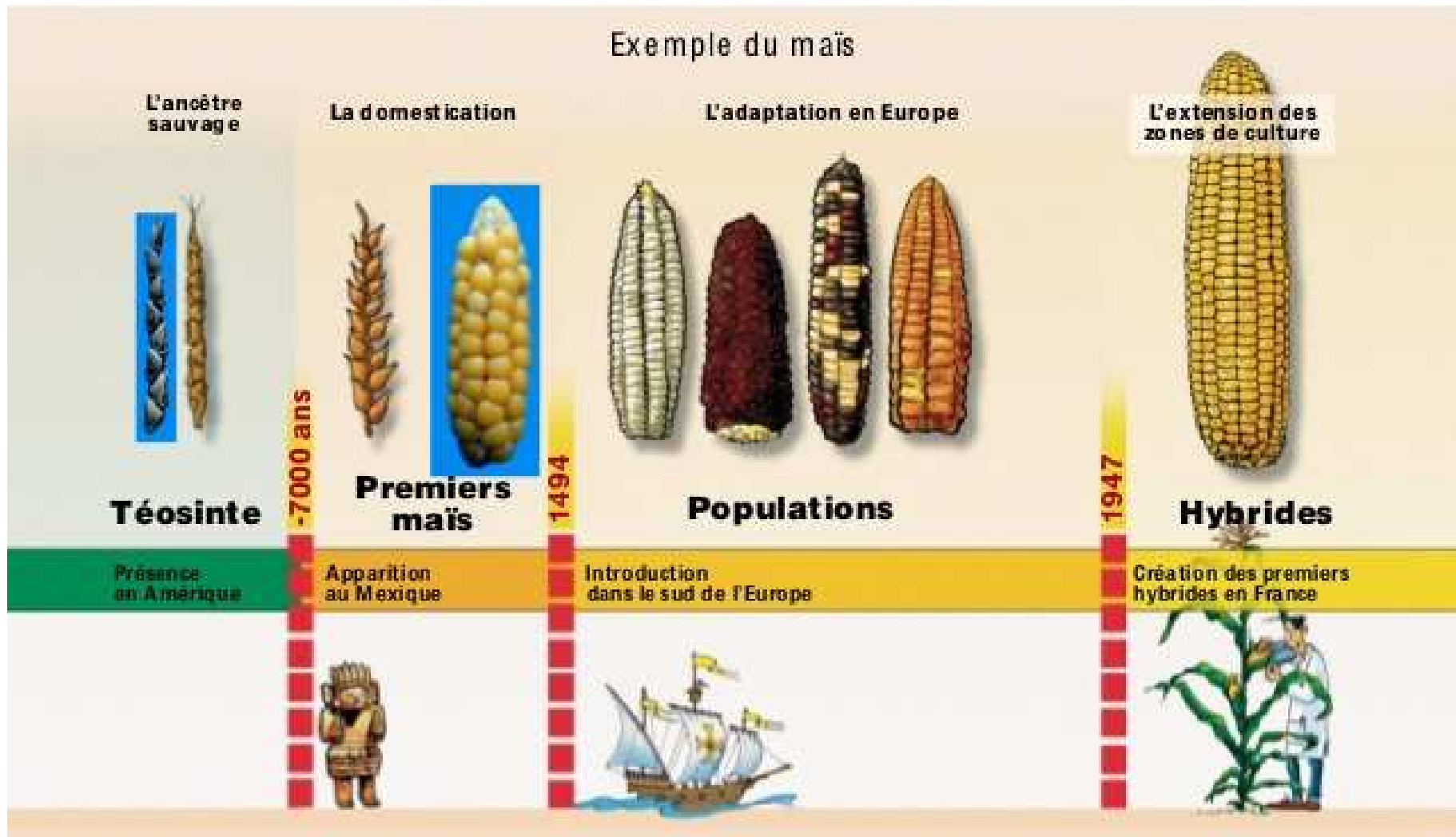
Les grains de Téosinte sont entourés d'une cupule = glumes soudées.  
Les grains de Maïs possèdent des glumes réduites (qui se coincent entre les dents lorsque l'on mange les grains).



Coupes transversales dans des grains de Maïs et de Téosinte.



# Exemple du maïs

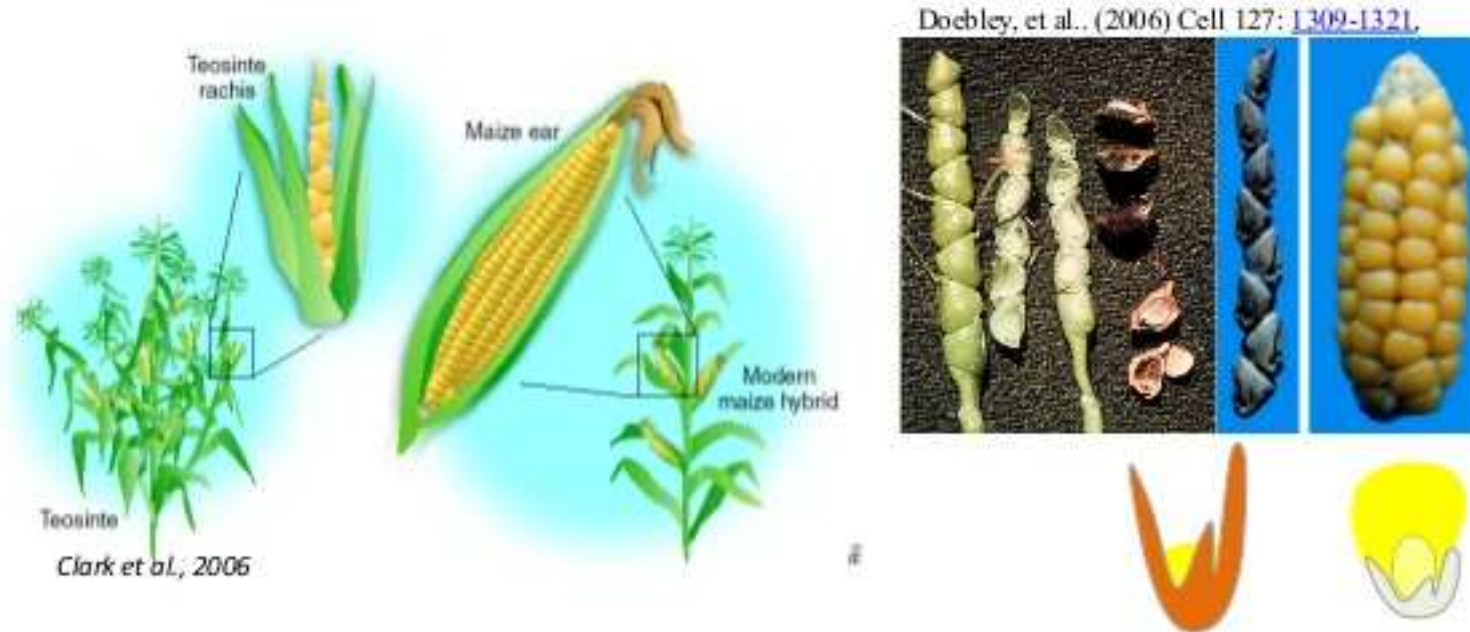


1 quintaux/hectare

Séminaire Biotechnologies - 9 et 10 février 2012

90 quintaux/hectare

# La sélection concerne quelques gènes majeurs



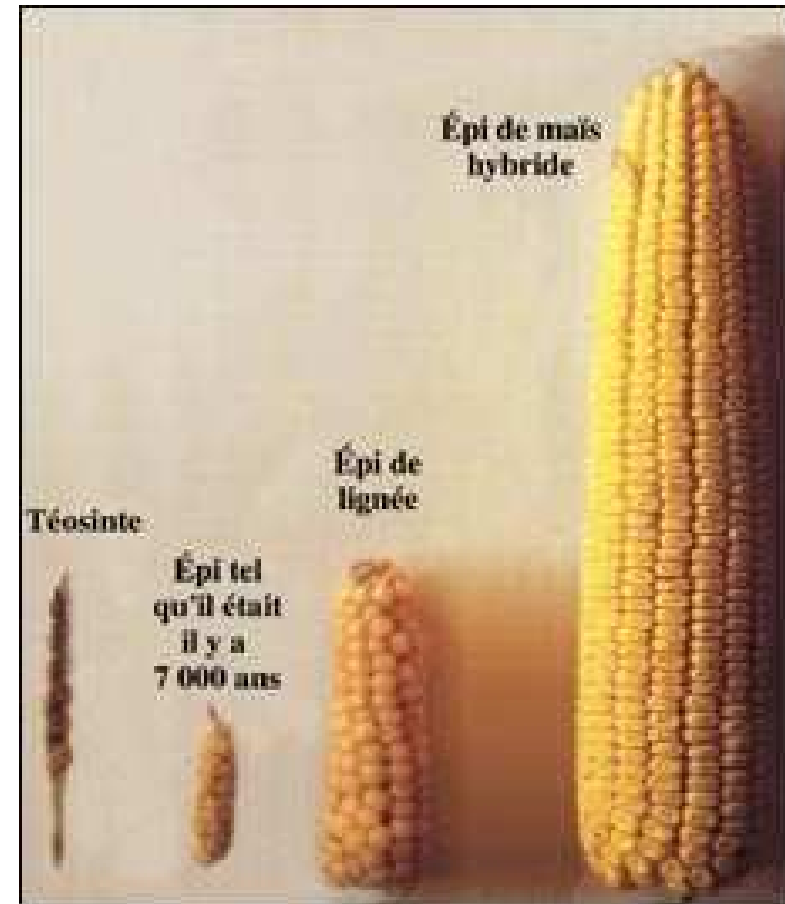
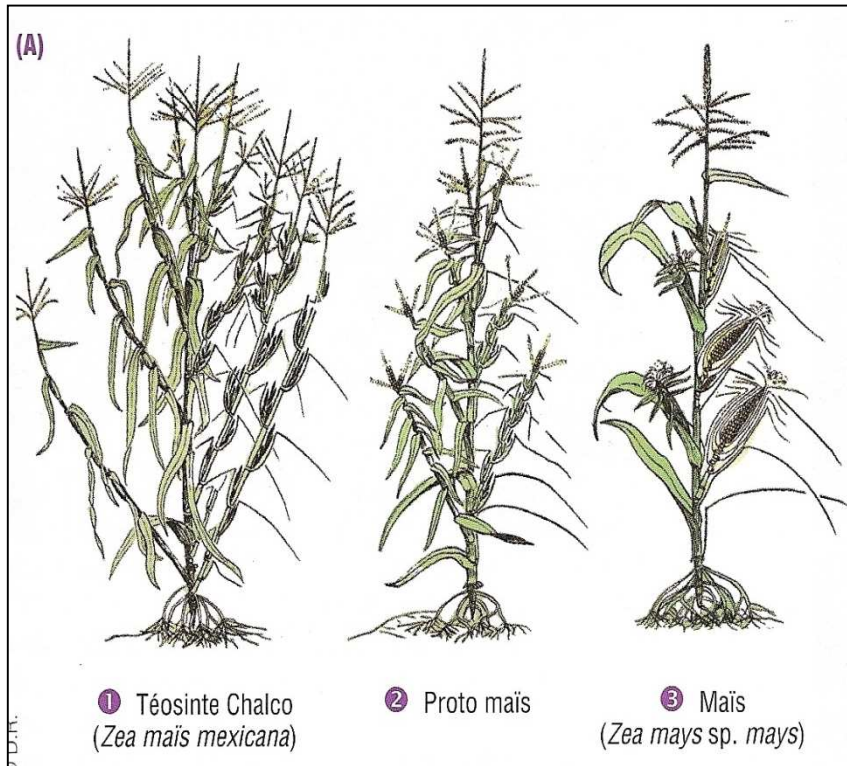
## Le gène **TB1 (TEOSINTE BRANCHED 1)**

- code un facteur de transcription (TCP)
- contrôle la structure branchée de la plante
- Sa surexpression entraîne une dominance apicale accrue et le développement d'une tige unique et épaisse chez le maïs cultivé

## Le gène **TGA1 (TEOSINTE GLUME ARCHITECTURE 1)**

- Code un facteur de transcription (SBP)
- contrôle le développement des glumes
- sa mutation produit des grains nus et fixés à l'épi

# Evolution du maïs sous l'effet de la sélection



Domestication → Modifications Phénotypiques (Morphologiques)



# Comparaison entre le blé dur (*Triticum turgidum*) et son ancêtre supposé

*T. t. dicoccoides* (forme sauvage)

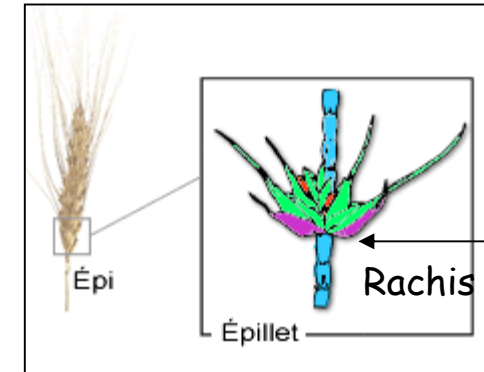


- Epis nombreux asynchrones
- Méristème d'abscission actif
- Grain vêtu
- pmg : 20-30 g

*T. t. durum* (forme cultivée)



- Epis peu nombreux synchrones
- Méristème d'abscission inactif
- Grain nu
- pmg : 50 g



Apparition de blé avec rachis (point d'attache)  
Grains nus et non cassants  
→ ++ rendement, récolté facilitée

## Le blé

- l'une des céréales (avec le maïs) la plus consommée dans le monde
- Deux espèces sont actuellement cultivées : le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*).
- Blé tendre : fabrication de farine destinée à l'alimentation humaine (pain...), animale
- Blé dur : fabrication des pâtes et de la semoule

# Origine et domestication des blés cultivés

**Tableau II. Dates des principales preuves archéologiques liées à la culture des blés et trouvées au Levant**  
(d'après Feldman, 2001)

Dates par rapport à aujourd'hui	Période archéologique	Principaux événements concernant les blés
- 13000 - 10300	fin de l'Epipaléolithique (civilisation natufienne)	Collecte de formes sauvages d'engrain et d'amidonier – apparition des premières techniques agricoles
- 10300 - 9500	Néolithique pré-potier A (PPNA)	Cultures de formes à rachis fragile d'engrain et d'amidonier
- 9500 - 7500	Néolithique pré-potier B (PPNB)	Apparition d'engrain et d'amidonier à rachis solide, de blé tétraploïde nu et de blé hexaploïde nu
- 7500 - 6200	Néolithique potier	Expansion de la culture du blé en Asie centrale, Europe du Sud et Égypte

**Tableau IV. Famines et disettes recensées en France d'après l'examen des chroniques**  
(d'après Bonjean et Leblond, 2000)

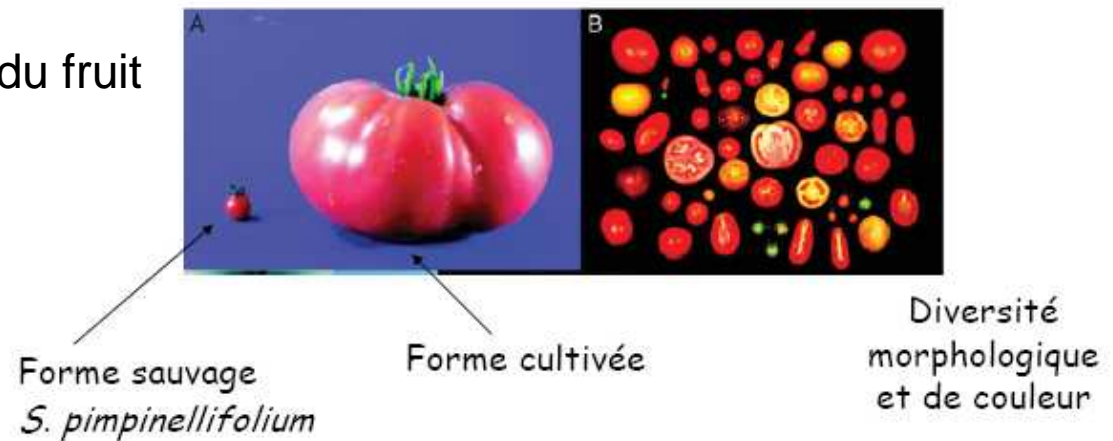
Siècle (s)	Nombre de famines
VIII <sup>e</sup>	6
IX <sup>e</sup> et X <sup>e</sup>	38
XI <sup>e</sup> et XII <sup>e</sup>	53
XIII <sup>e</sup>	10
XIV <sup>e</sup>	10
XV <sup>e</sup>	13
XVI <sup>e</sup>	13
XVII <sup>e</sup>	11
XVIII <sup>e</sup>	16
XIX <sup>e</sup>	10
XX <sup>e</sup>	0

XIX<sup>e</sup> siècle: date clé,  
virage vers la modernité

# Autres exemples de domestication

## La tomate (*Solanum lycopersicum*)

Modification de la taille, couleur du fruit



## La vigne

Modification de la taille du fruit

mais surtout un changement dans système de reproduction

- forme sauvage: dioïque
- forme cultivée : hermaphrodite

→ Régularité pollinisation, inutile d'installer des plants mâles

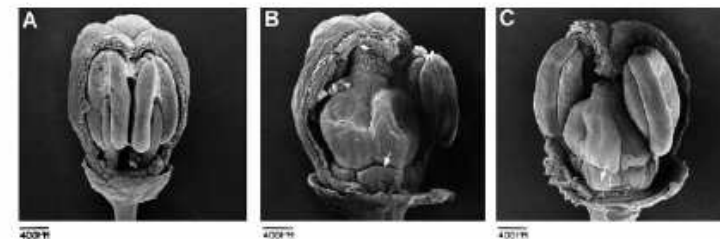


Fig. 2 SEM pictures of partially dissected A male, B female and C hermaphroditic mature flowers. Arrows indicate stamens.

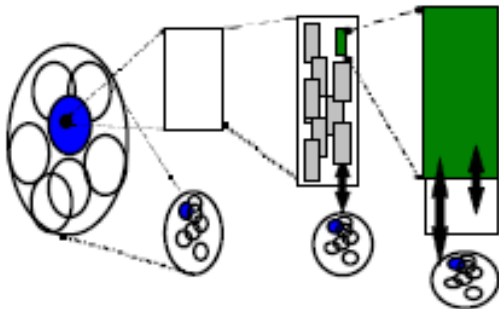
# Le syndrome de la domestication

= des caractères qui confèrent l'adaptation des plantes à leur mise en culture, à leur consommation, à leur stockage ....

ET

*réduisent l'adaptation en milieu naturel*

Conséquences :



→ Un échantillonnage global

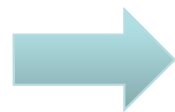
→ Un échantillonnage plus drastique sur les régions génomiques « d'intérêt ».

Données/connaissances importantes pour l'exploitation des ressources génétiques

## II. Différentes techniques d'amélioration des plantes : de la sélection empirique aux biotechnologies modernes

### II. 1. Méthodes empiriques

- Jusqu'à la fin du 19ème : amélioration végétale fondée sur **critères morphologiques /phénotypiques**
- Choix de graines issues des plantes présentant les « **meilleurs** » caractères (visuels) **observés**



**Sélection Massale**

## Sélection Massale : choisir dans la 'masse' les individus jugés comme les 'plus intéressants'

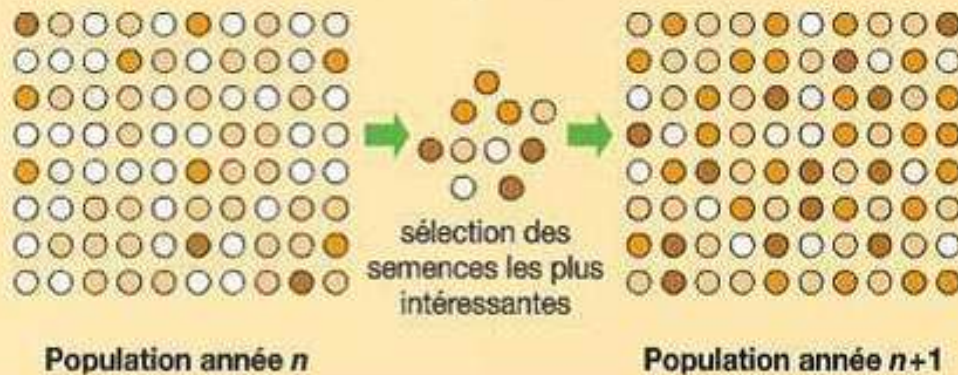
*Méthode empirique car s'appuie sur l'observation, sans connaissance particulière*

Depuis des millénaires, les plantes cultivées germent, se développent, fructifient sous l'œil attentif des agriculteurs. Ils repèrent chaque année les individus les plus résistants aux maladies, aux intempéries, ceux qui produisent les meilleurs résultats... et choisissent leurs prochaines semences parmi ces « meilleurs » individus.

Cette méthode de sélection modifie très lentement les caractéristiques génétiques de la population de départ, sans jamais l'uniformiser. Les critères de sélection pouvant varier selon les lieux et au cours du temps, elle est à l'origine de l'immense diversité des variétés dites « de pays », ou « paysannes ».

### Modélisation simple d'une sélection massale

Dans ce modèle, les graines récoltées sont d'autant plus intéressantes pour constituer la semence de l'année suivante qu'elles sont foncées. Mais le tri des graines est une tâche difficile, aux résultats imparfaits !



Depuis la plus haute Antiquité, les agriculteurs trient les plantes les plus performantes pour les multiplier.

## Limites de la Sélection Massale

- S'applique sur un petit nombre de caractères
- Plantes non fixées (= sont toutes différentes entre-elles)  
→ ≠ de « variétés »
- Effet environnement
- Liaison du caractère recherché avec un autre caractère défavorable (parfois)



**Intérêt pour un raisonnement plus scientifique  
de la sélection !!**

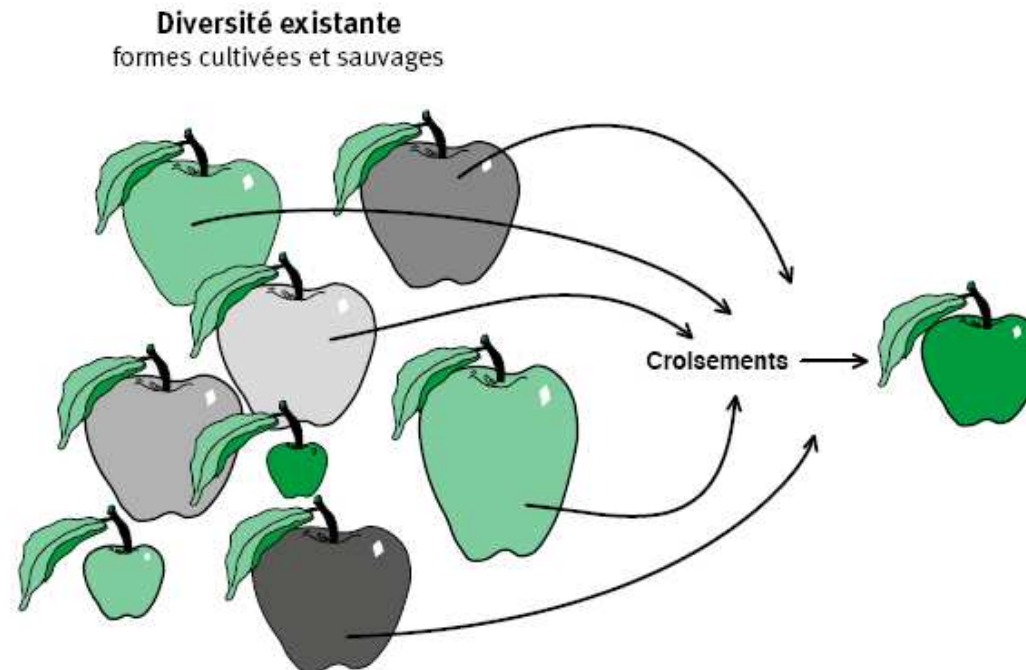
# Objectifs et Principes de la sélection

## Objectif principal

- Création de 'plantes homogènes' = variétés à partir de la diversité EXISTANTE

## Principe

- Croisement entre 2 plantes choisies pour leurs caractères intéressants et complémentaires, afin de les réunir dans une seule plante !



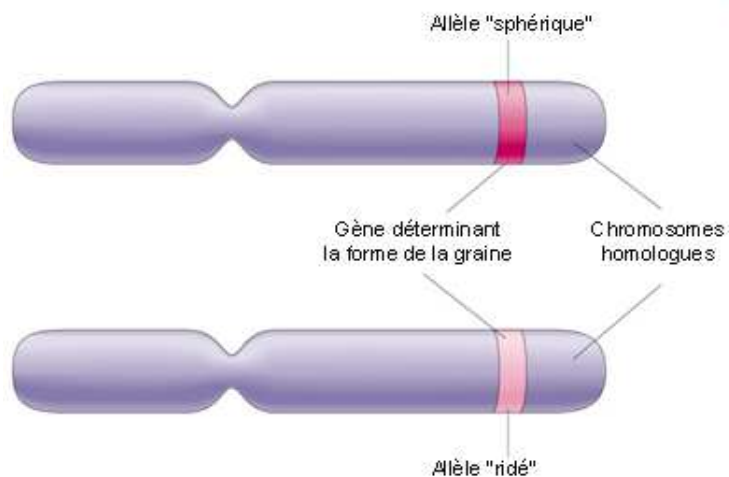


## II. 2. Méthodes pour créer des variétés homogènes et productives

### A. Rappels

- **GENOTYPE** : Ensemble de l'information génétique d'une plante, portée par ses gènes
- **ALLELES** : Formes que peut prendre un même gène

Les allèles occupent la même position (**locus**) sur les **chromosomes homologues**.

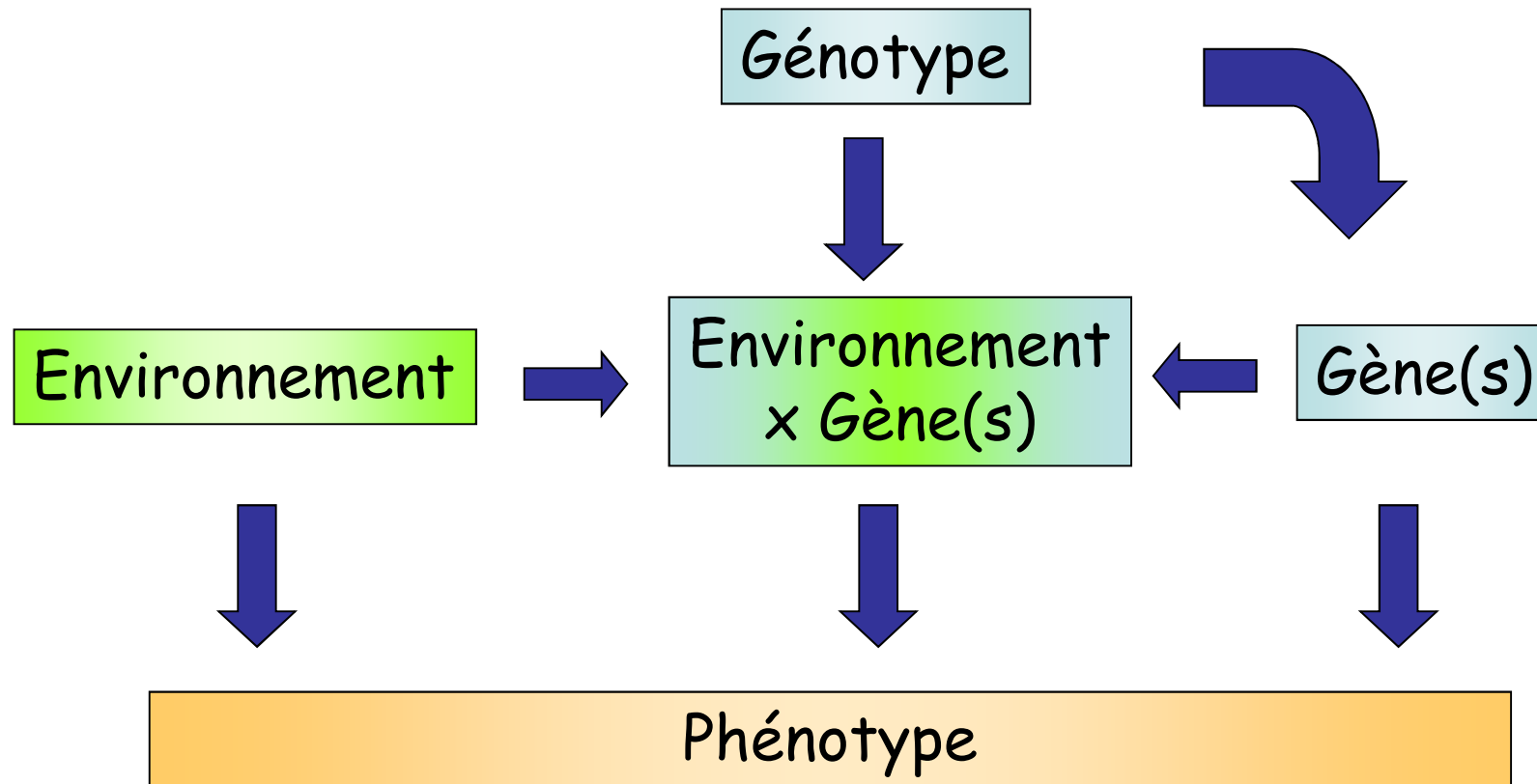


→ le génotype d'une plante est la **liste complète des allèles** des gènes

- **Homozygote** : allèles identiques sur les chromosomes homologues
- **Hétérozygote** : allèles différents
- **Lignée pure** : tous les allèles sont à l'état homozygote

→ le génome est 'fixé'

- **PHENOTYPE** : Ensemble des **caractères observables** d'une plante liées à son apparence ou à sa physiologie (déterminé par le génotype ET l'environnement)



Il est possible d'évaluer la part du génotype pour un caractère observé :

➡ **Notion d'héritabilité**

## II. 2. Méthodes pour créer des variétés homogènes et productives

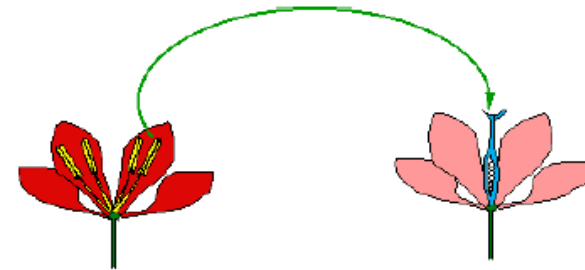
### B. Hybridation et sélection

**HYBRIDATION** croisement d'individu identifié comme étant de lignée pure présentant des caractères intéressants.

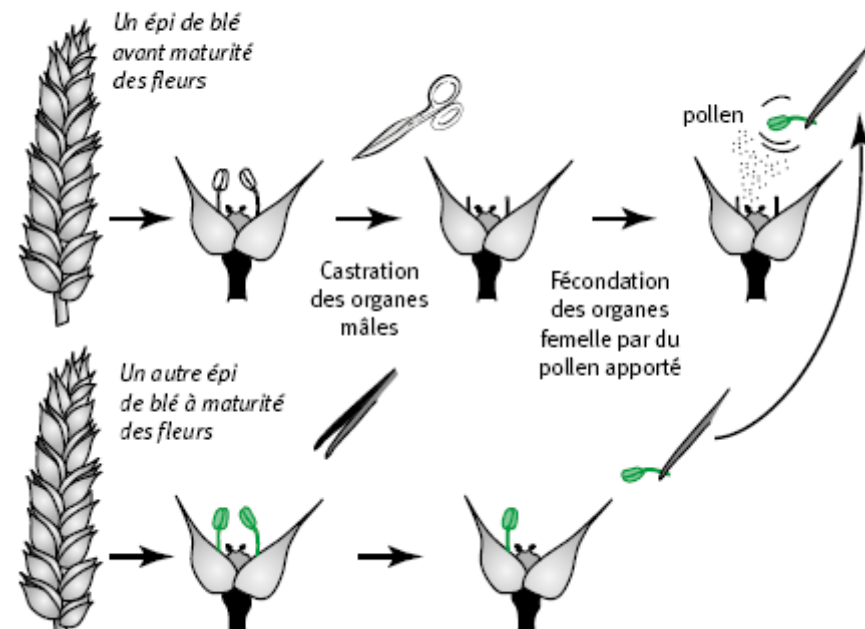
*Principe:* réalisation de pollinisations manuelles :

1. La lignée parentale choisie femelle, le « porte graine », doit être castrée par ablation des anthères de la fleur (= parties mâles de la fleur);
2. Le pollen de la variété choisie mâle est apporté à l'aide d'un pinceau sur le stigmate de la variété femelle.

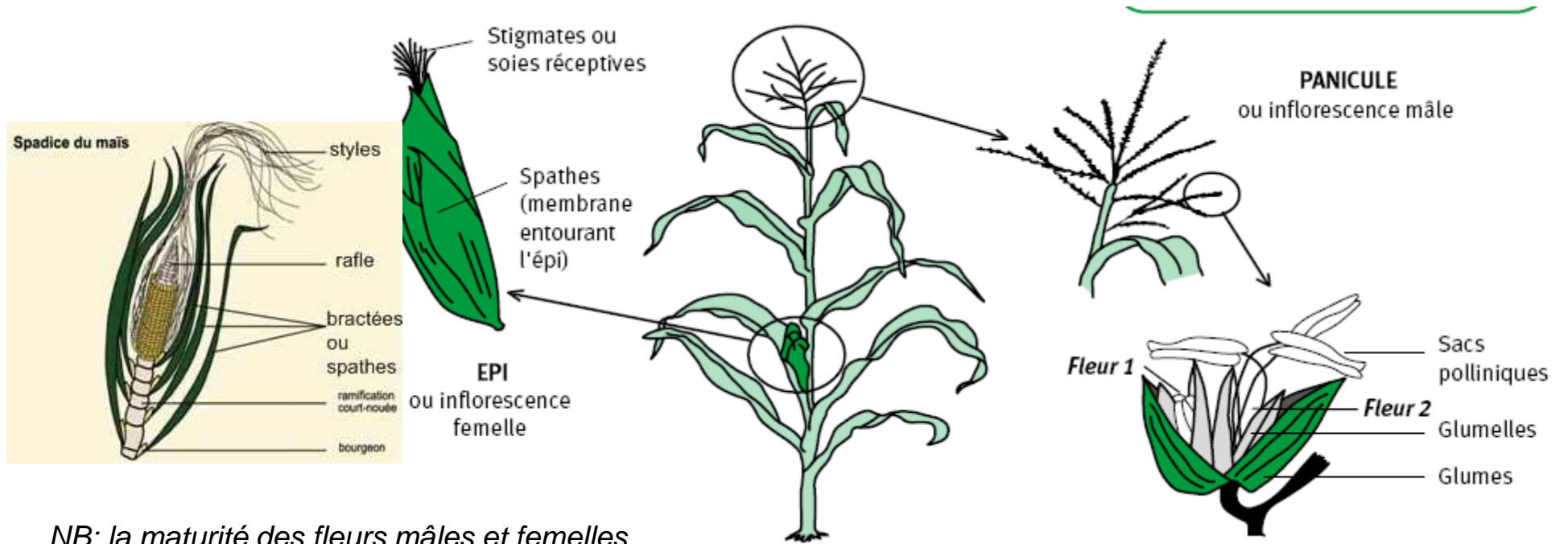
*Problématique:* obtention de lignées pures parentales



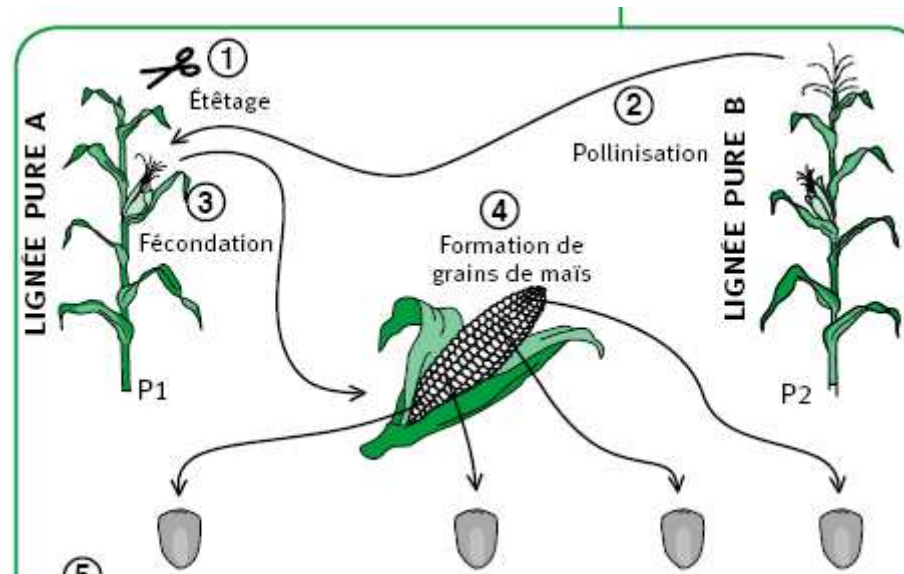
*Technique d'hybridation chez le blé*



# Techniques d'hybridation chez le maïs

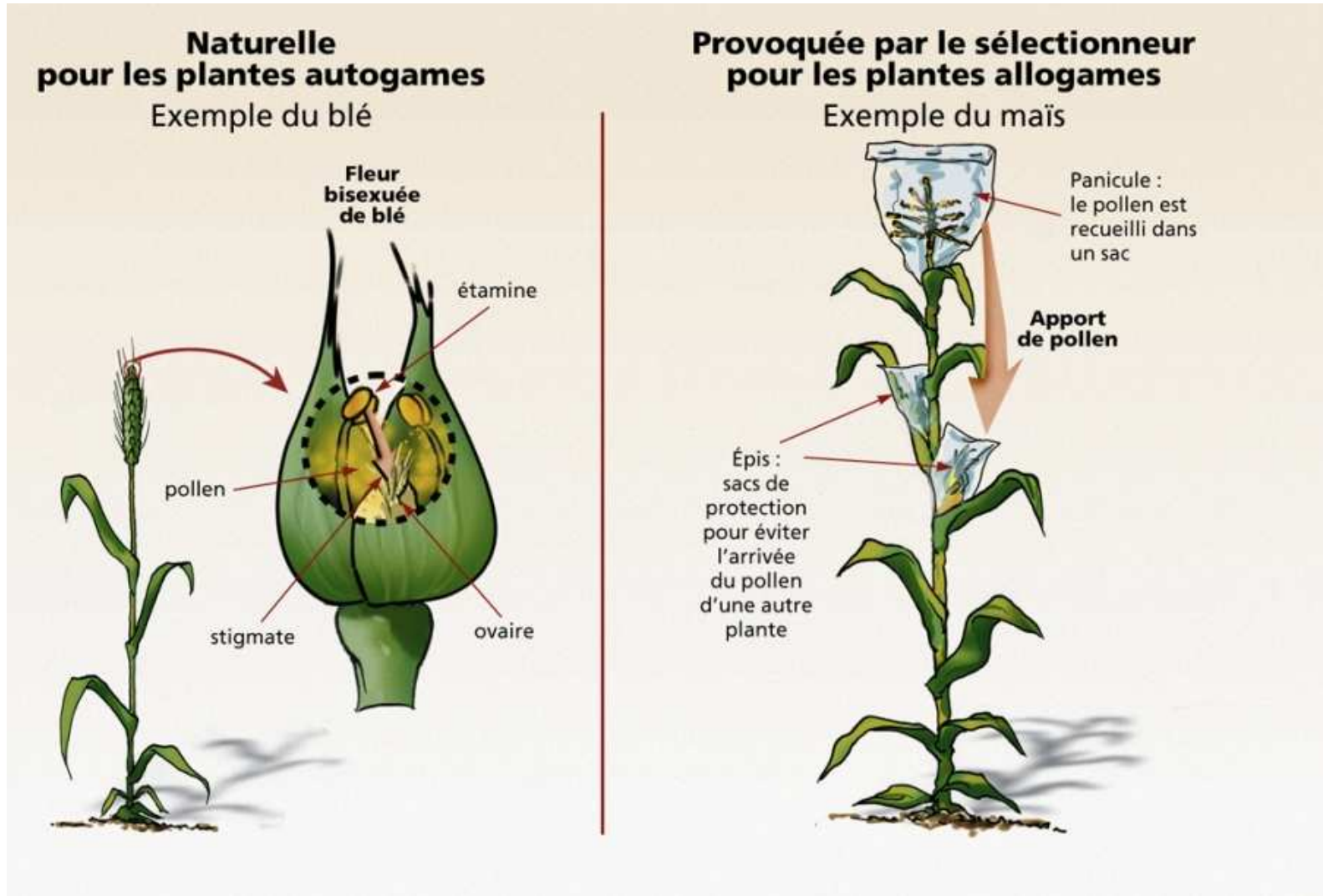


*NB: la maturité des fleurs mâles et femelles est décalée dans le temps...*

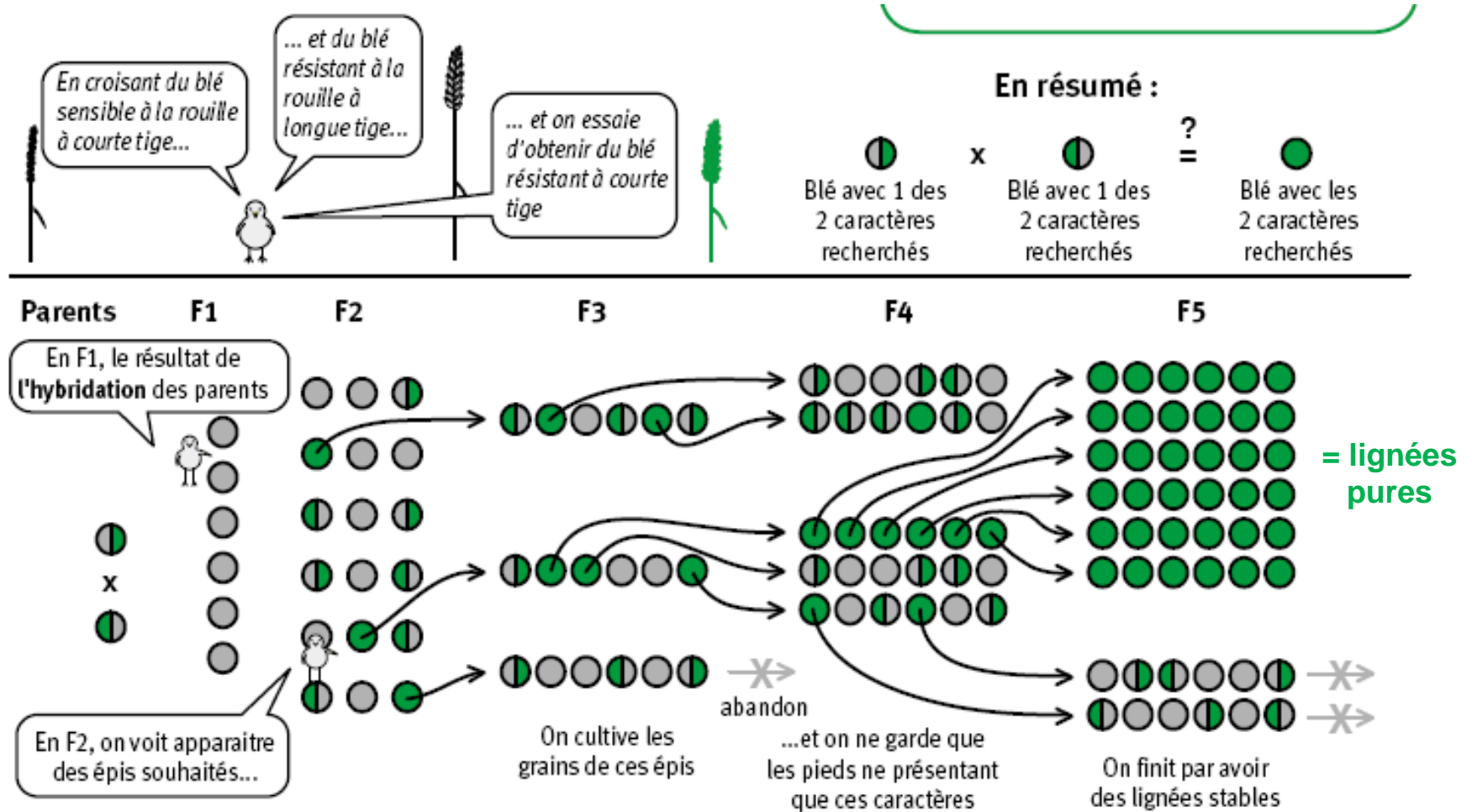


*puis étapes d'autofécondation*

**AUTOFECONDATION** : fécondation d'un ovule par du pollen issu de la même plante.



# SELECTION



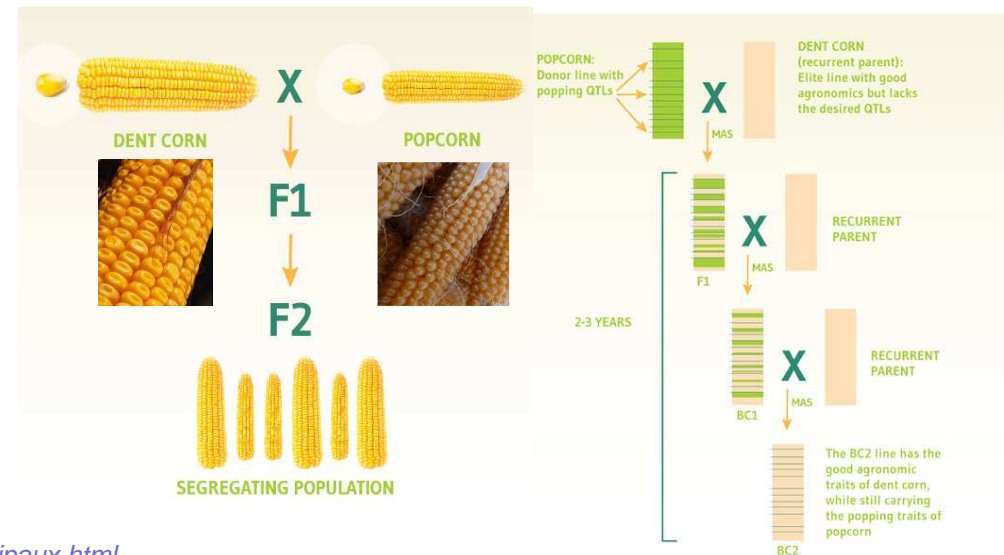
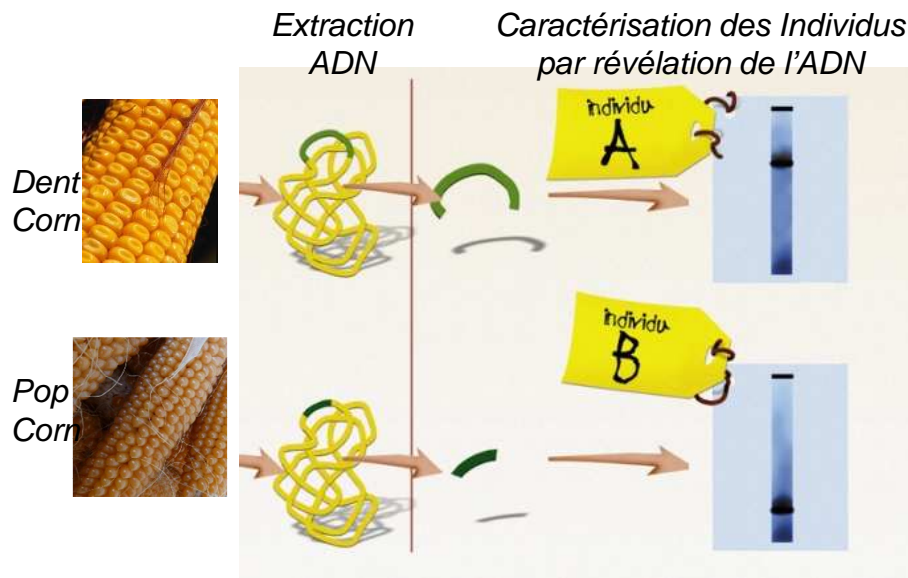
*Étapes d'autofécondation*



# Comment identifier 'rapidement' les 'caractères' intéressants dans la descendance ?

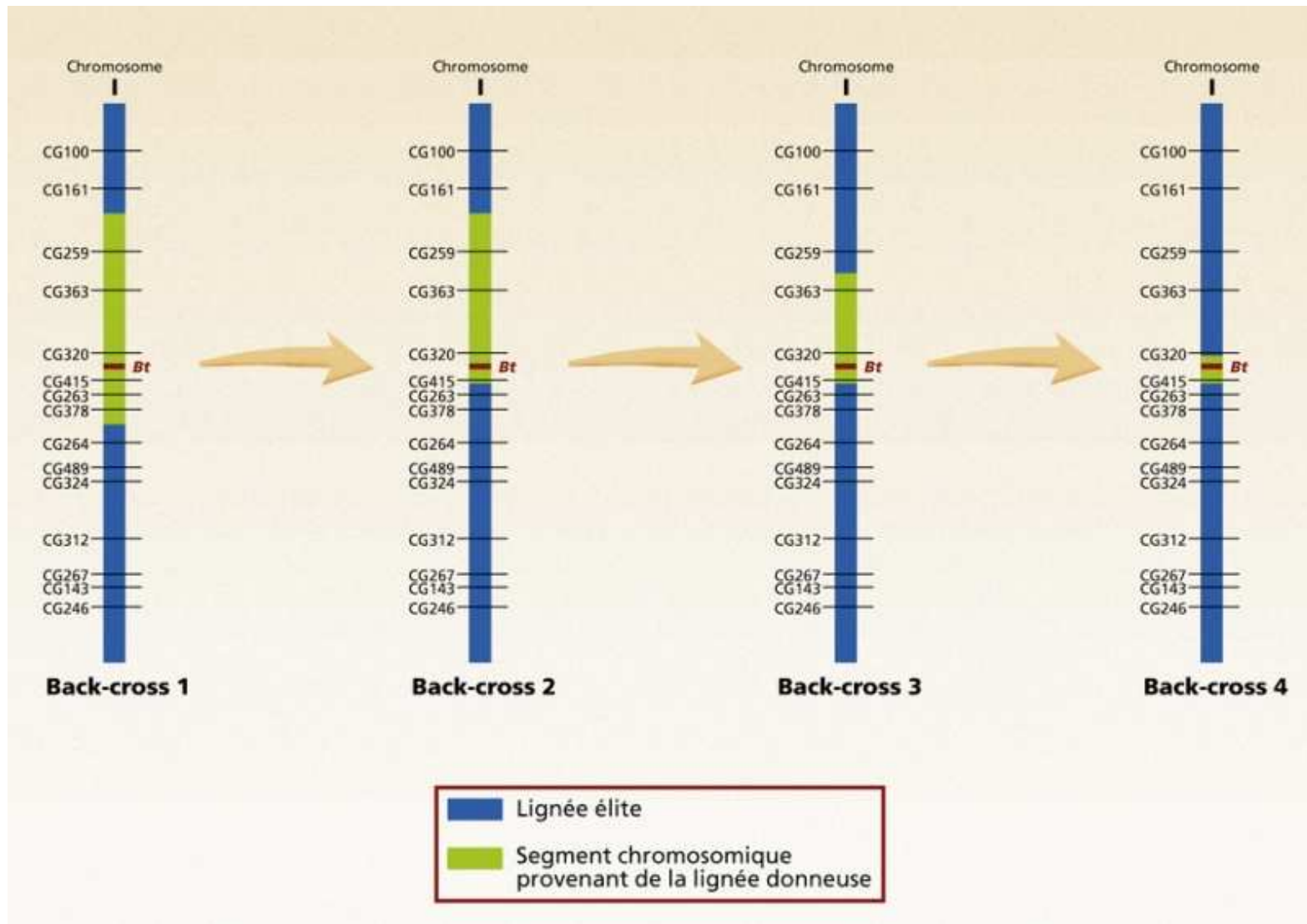
→ Utilisation de marqueurs moléculaires (= ADN, protéine...)

- marqueurs ADN, révèlent polymorphisme génétique entre au moins 2 lignées à un même endroit (locus) du génome
- indiquent l'état (homozygote ou hétérozygote) de la plante analysée



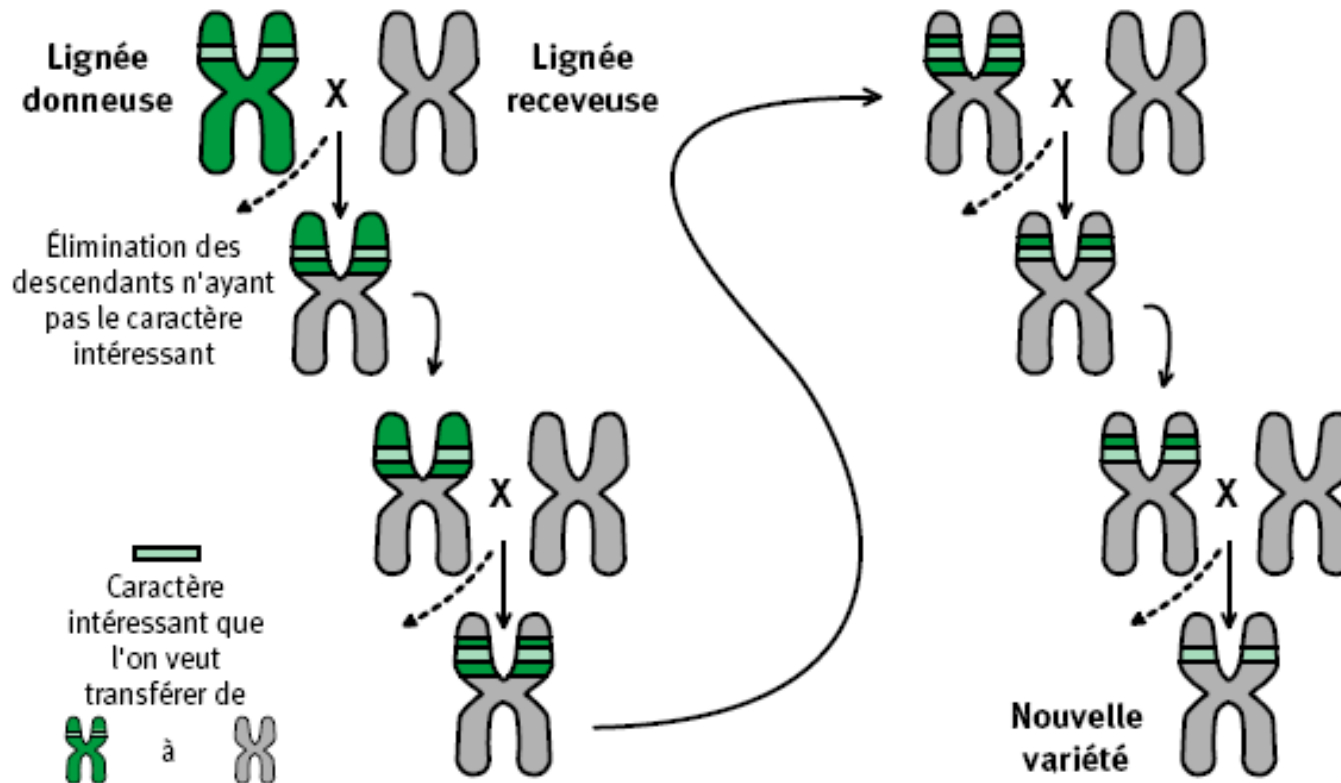


Exemple: l'introgression du gène Bt chez le maïs



## II. 2. Méthodes pour créer des variétés homogènes et productives

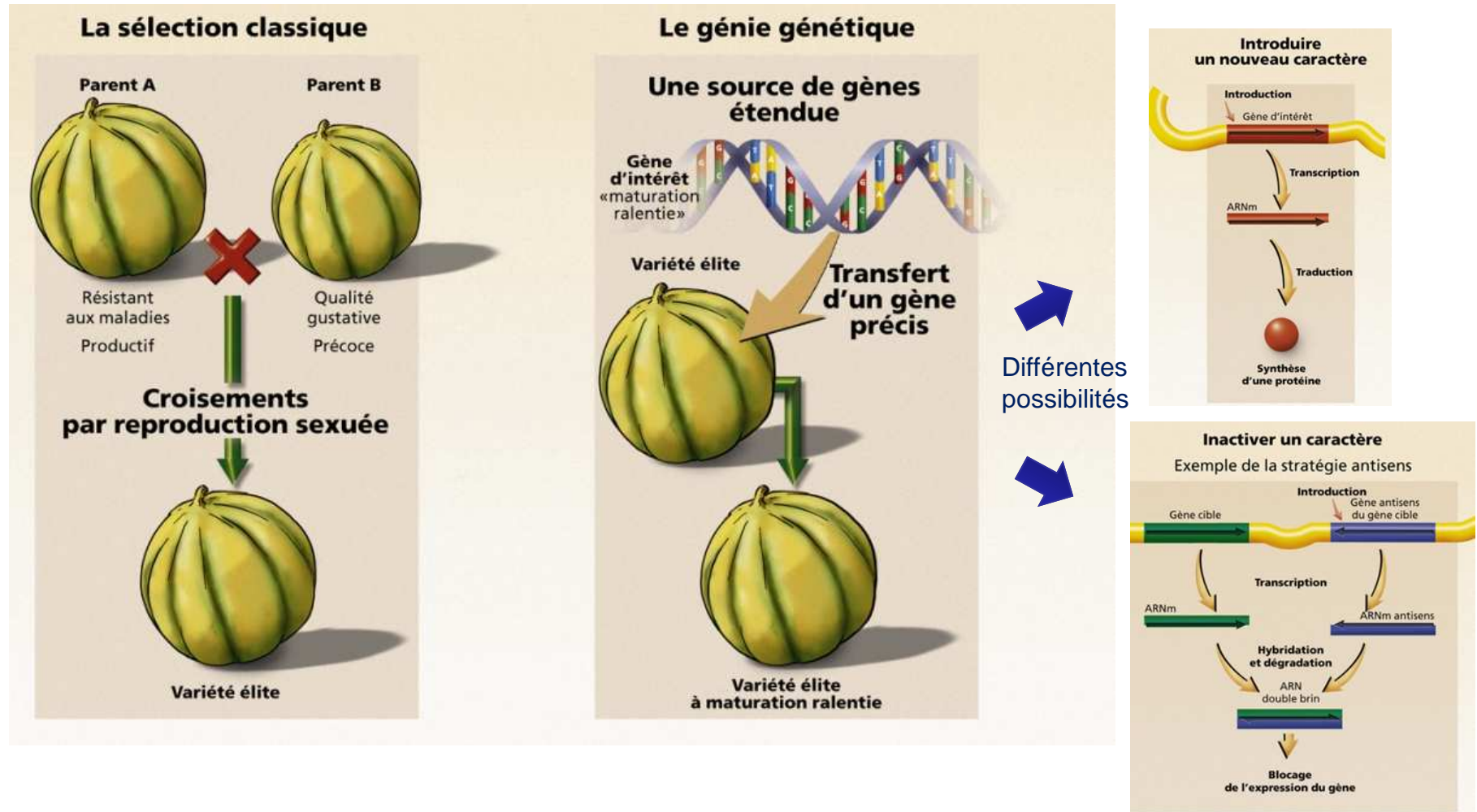
### C. Rétrocroisement



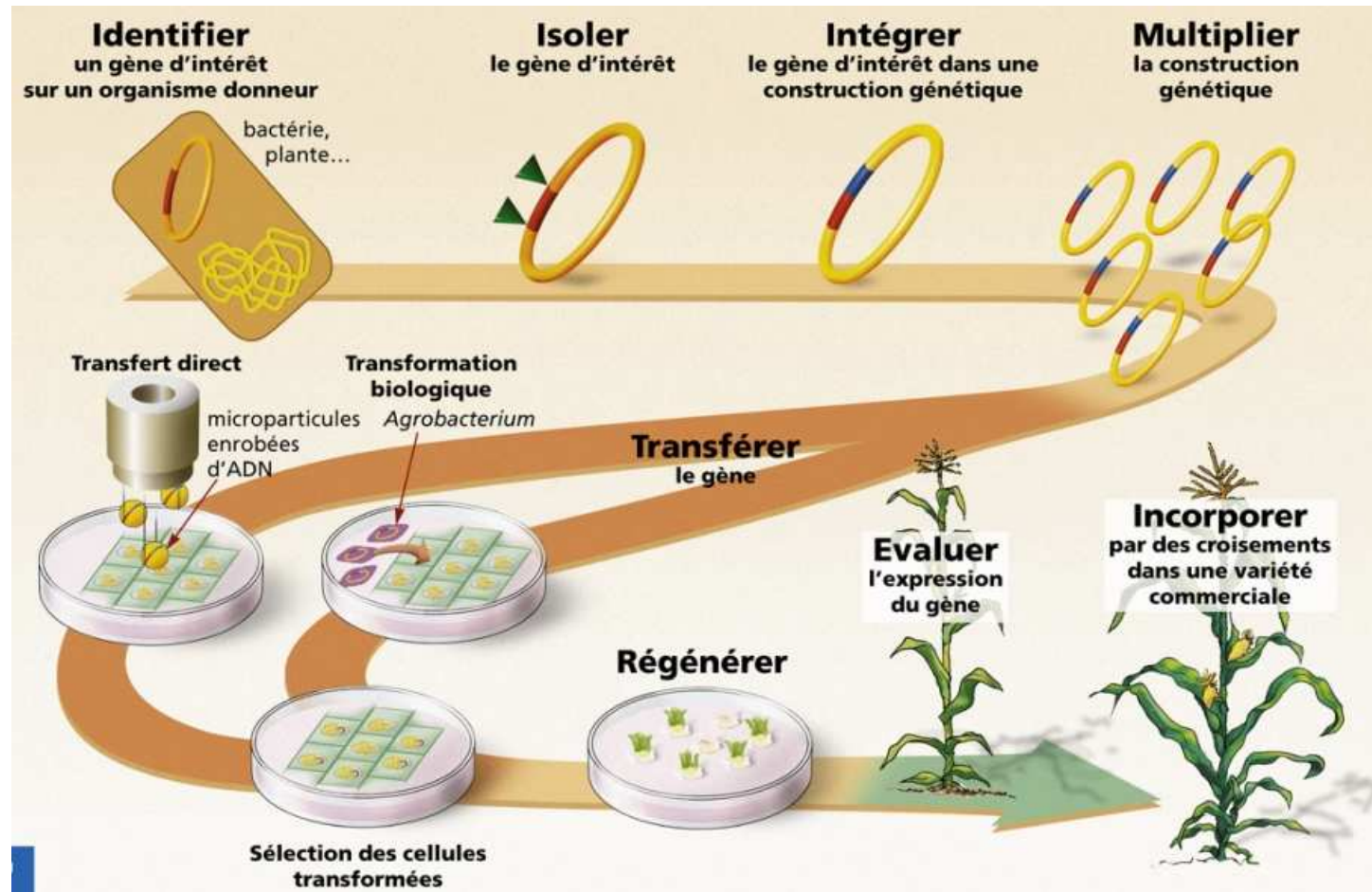
**Rétrocroisement:** Croisement d'une plante issue du croisement de deux lignées, par une des lignées parentales.

## II. 2. Méthodes pour créer des variétés homogènes et productives

### D. Transgénèse



# Les différentes étapes de la transgénèse



## **Etape 1 : Identifier, isoler, intégrer et multiplier un gène d'intérêt**

Le gène 'd'intérêt'

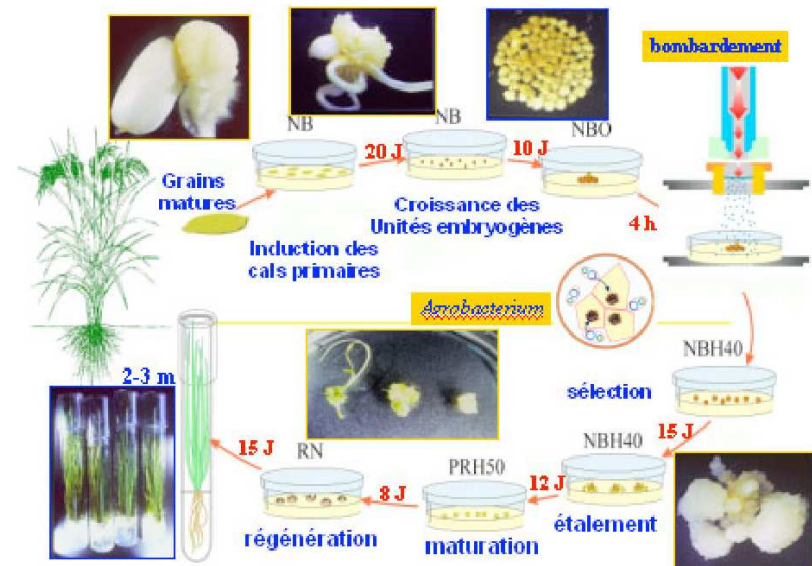
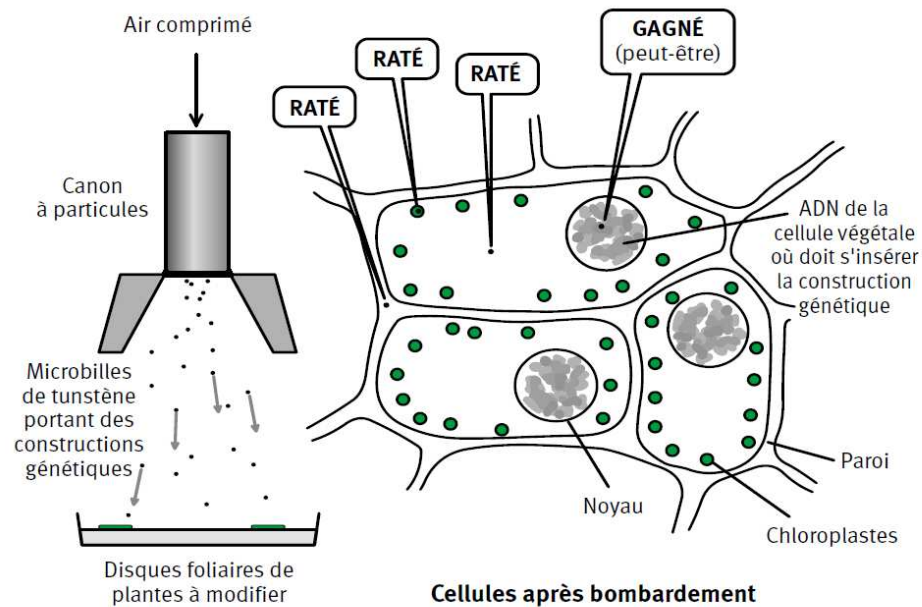
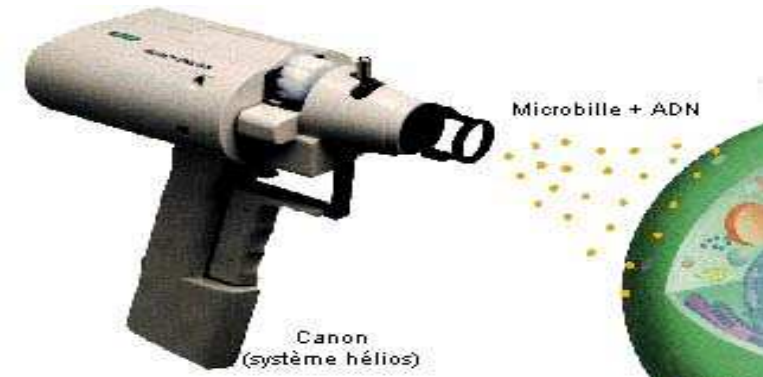
- permet une amélioration (nutritionnelle, résistance) de l'espèce végétale que l'on souhaite transformer
- peut provenir de tout organisme vivant, plante, animal ou bactérie puisque le code génétique est universel
- souvent associé à un 'gène marqueur' pour sélectionner les plantes transformées (résistance antibiotique..)
- est intégré dans un 'plasmide' via techniques de biologie moléculaire

## Etape 2 : Transférer le 'gène d'intérêt'

### A) Méthodes de transfert direct

#### - Canon à particule (biolistique):

projection de billes d'or ou de tungstène 'enrobées' avec de l'ADN directement dans les cellules végétales via l'utilisation d'un canon à particules



## - Par électroporation ou traitement chimique de protoplastes

### *Obtention de protoplastes*

Traitement avec enzymes de dégradation de la paroi

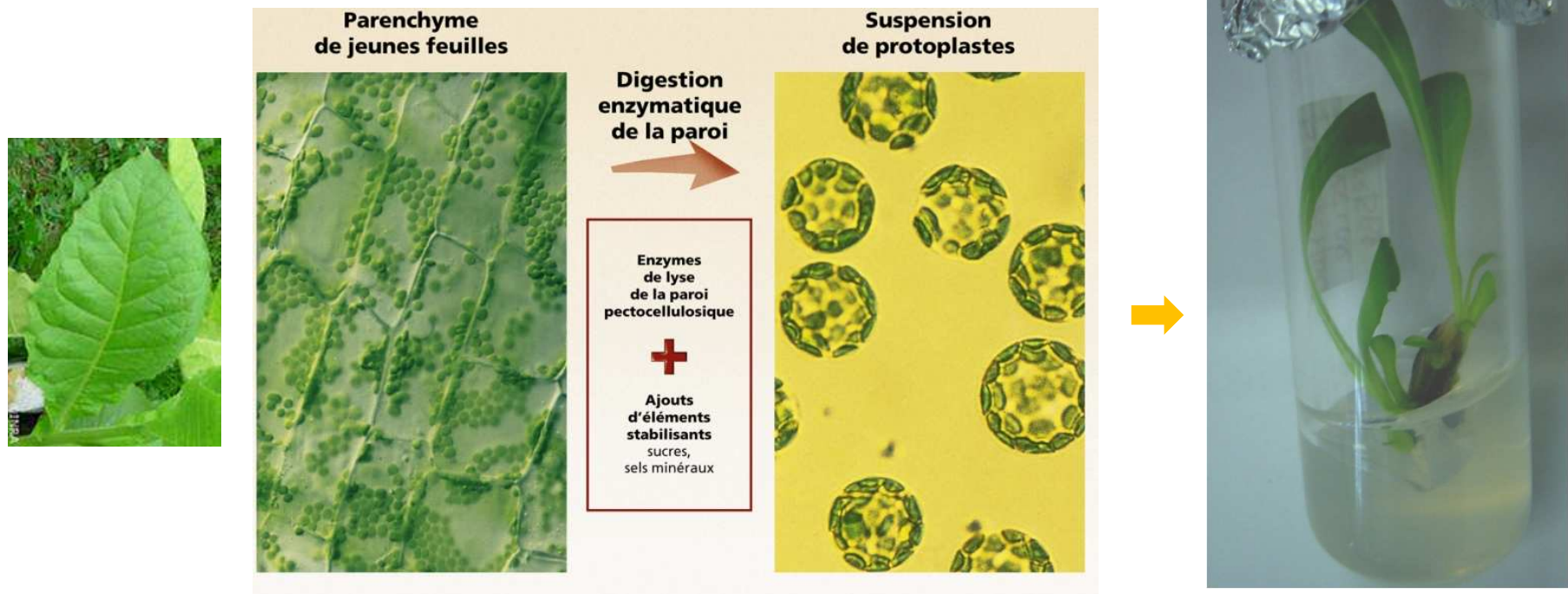
Stabilisation osmotique des protoplastes (sorbitol)

Ajout ADN

i) électroporation (champ électrique)

ii) ajout produit perméabilisant (PEG/Calcium) = traitement chimique présence de calcium /PEG (fragilisation de la mbre plasmique)

Régénération plante entière



**PROTOPLASTES** = cellules végétales débarrassées de leur paroi via traitement enzymatique, capable de division et fusion

## B) Méthodes de transfert Indirectes ou transformation biologique

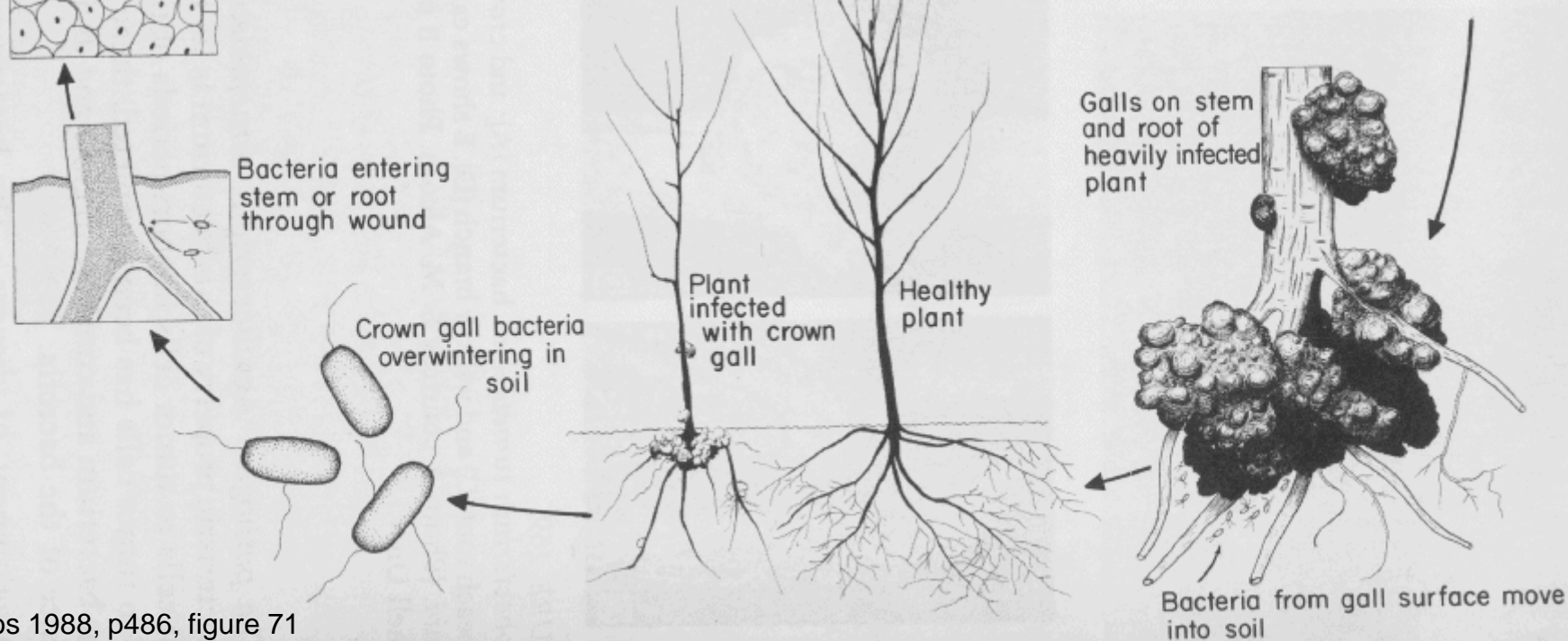
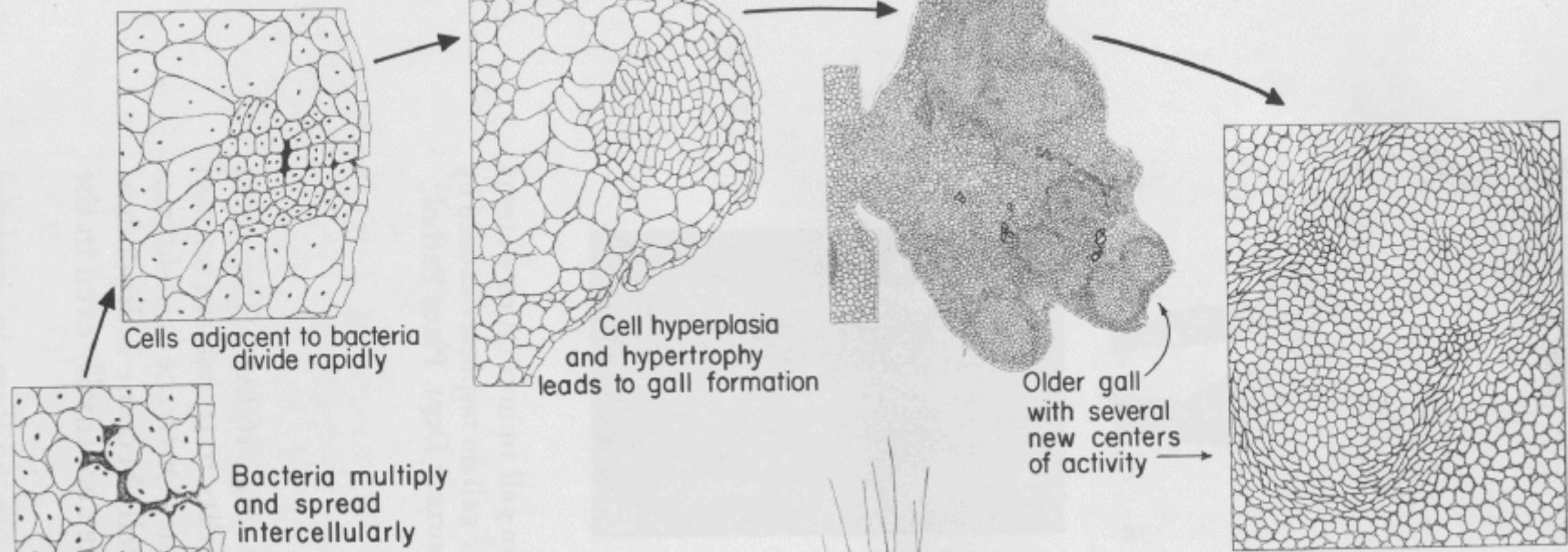
- par utilisation de bactéries capable de transférer une partie de leur patrimoine génétique dans les cellules végétales : le genre *Agrobacterium sp*,



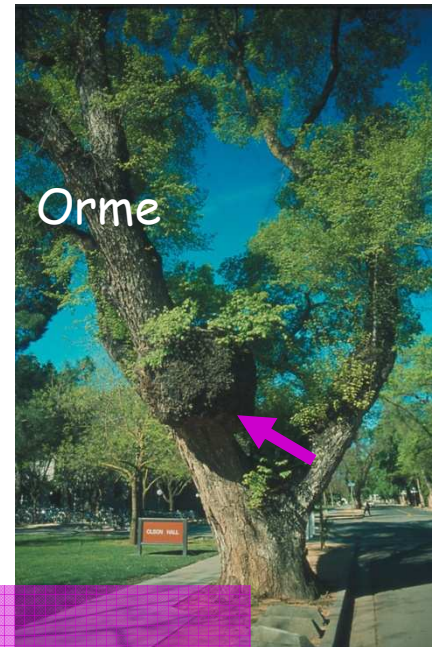
- Bactérie du sol
- Type : Gram-
- Plantes Hotes : la plupart des dicotylédones
- Importance Agronomique : affecte surtout les végétaux appartenant à la famille des Rosacées (poires, pommes, abricots, cerises ...)
- Provoque chez les plantes infectées une tumeur dite ' galle du collet' (*A. tumefaciens*) ou une multiplication racinaire (*A. rhizogenes*)



# Cycle d'infection d'*A. tumefaciens*



# *Agrobacterium* « transformateur naturel » des végétaux



**Crown Gall = Galle du Collet**

***Agrobacterium tumefaciens***

**Megaplasmide Ti (Tumor Inducing)**

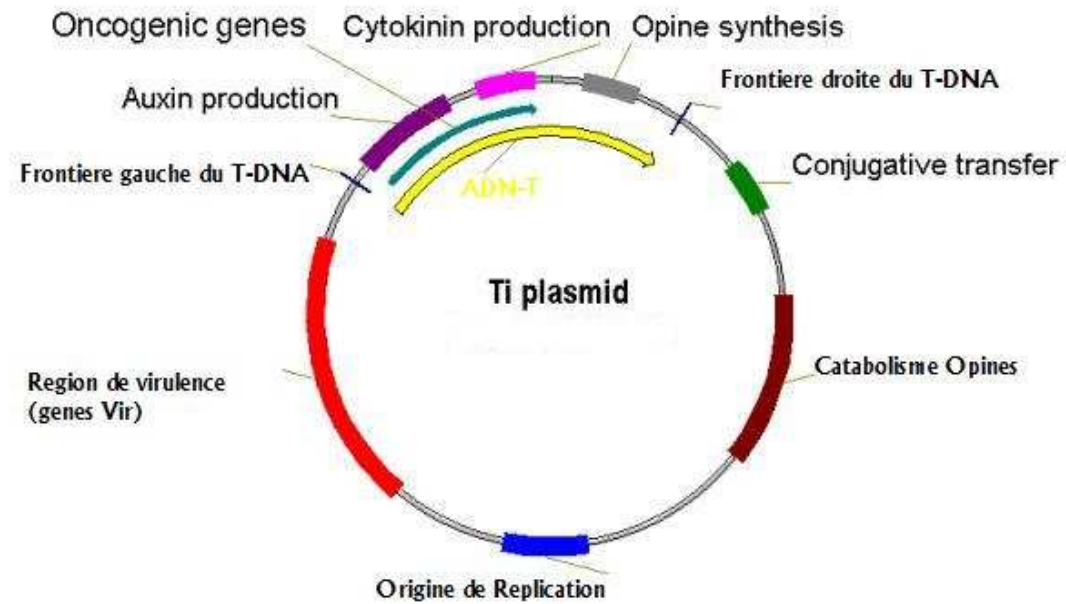
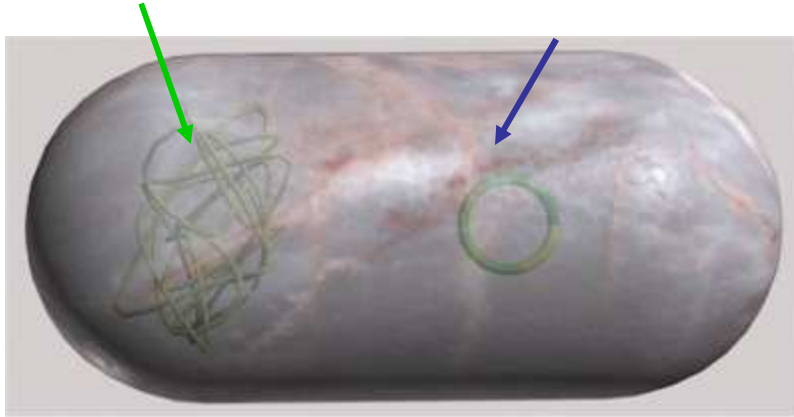


**Hairy Root = Chevelu racinaire**

***Agrobacterium rhizogenes***

**Megaplasmide Ri (Roots Inducing)**

*Agrobacterium* contient  
un **chromosome** et un **megaplasmide** (Ti ou Ri)



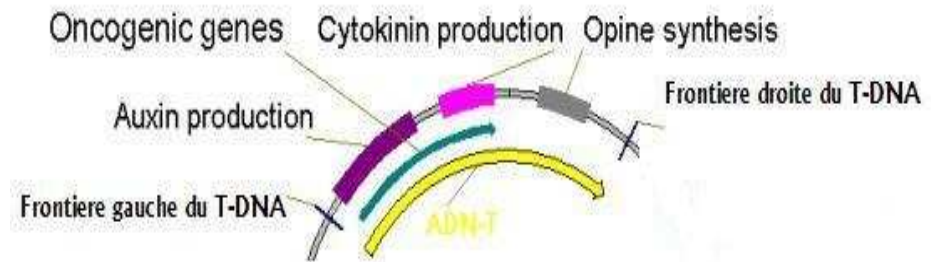
**L'ADN-T (ADN de transfert):** fragment du mégaplasme transféré dans les cellules végétales

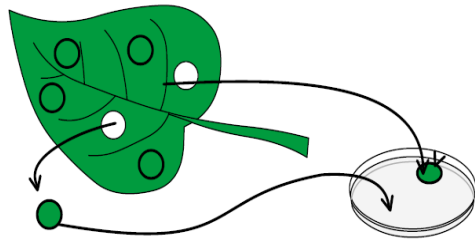
Naturellement contient entre FG et FD:

- gènes de synthèse et assimilation des opines
- oncogènes codant pour la synthèse de phytohormone (auxine et cytokinine)

Modifié pour contenir entre FD et FG:

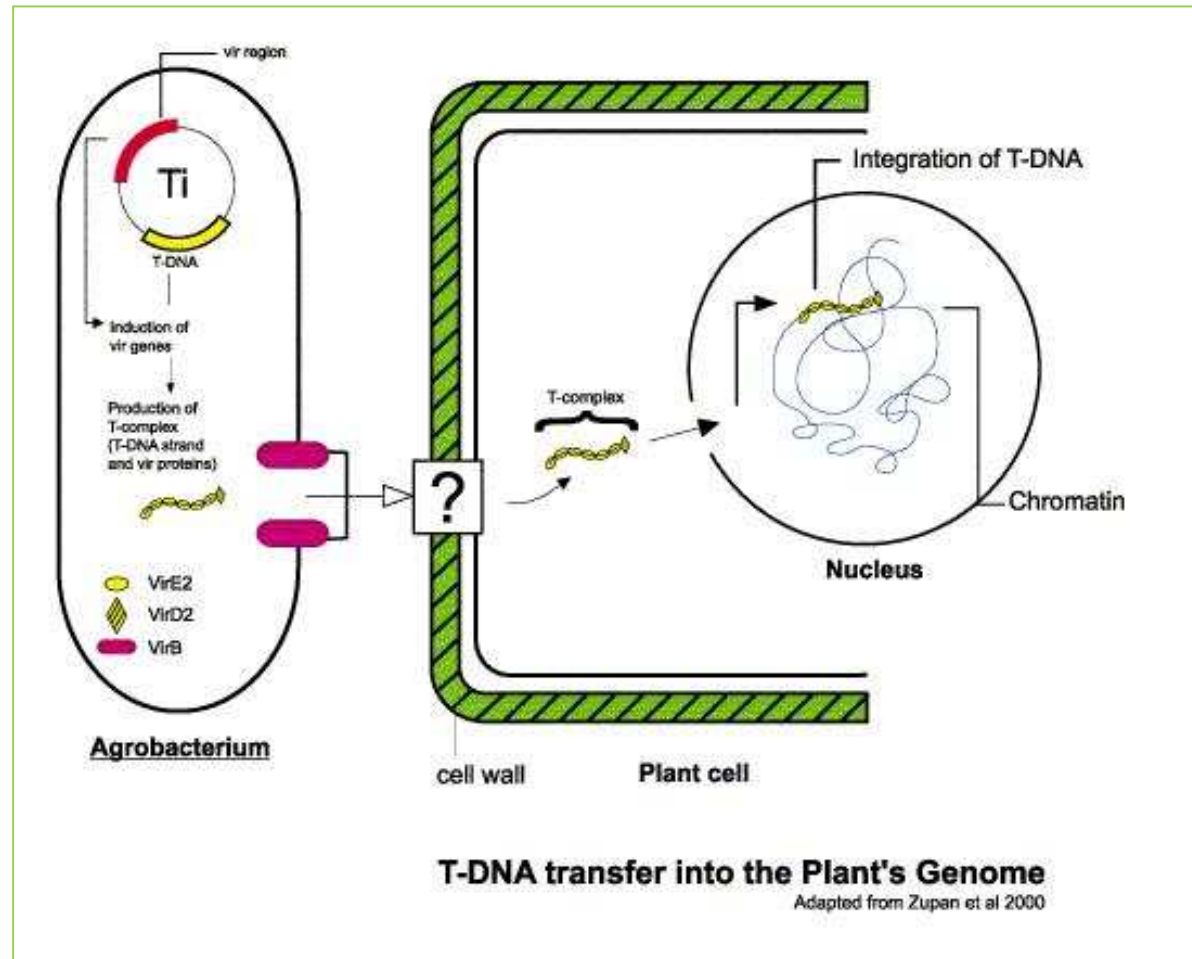
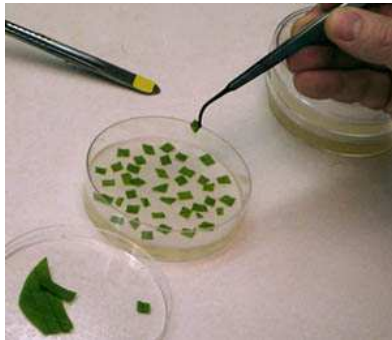
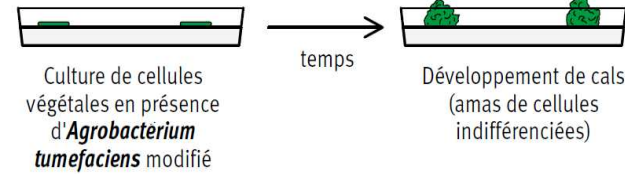
- 'gène d'intérêt'
- 'gène 'marqueur de sélection'



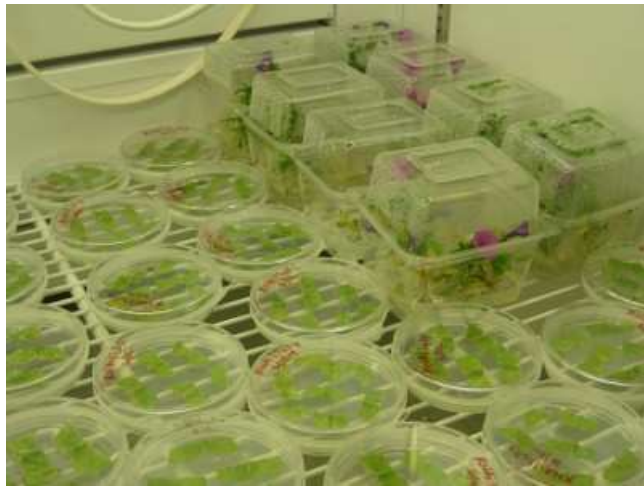


Disques foliaires coupés à l'emporte pièce = Explants

Co-culture, *Agrobacterium tumefaciens* modifié au niveau de son ADN-T + explants végétaux

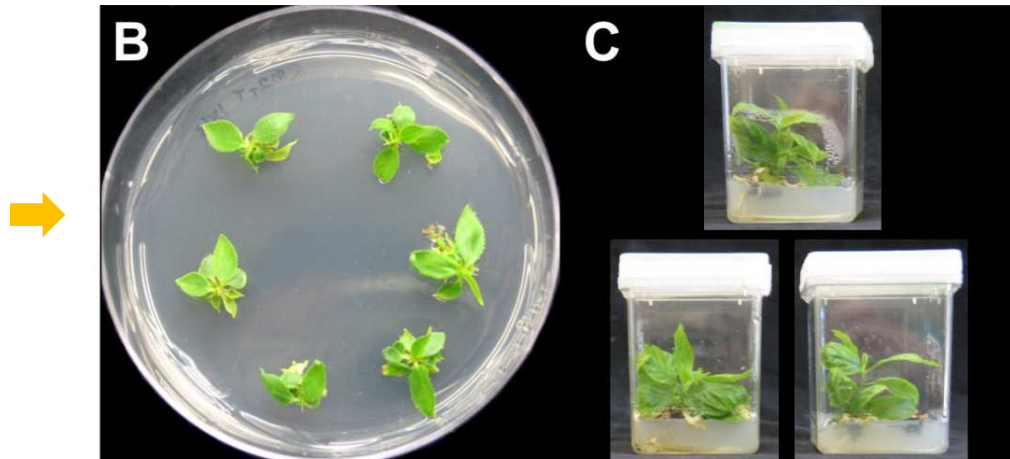


### Etape 3 : Sélectionner, régénérer et évaluer les plantes 'transformées'



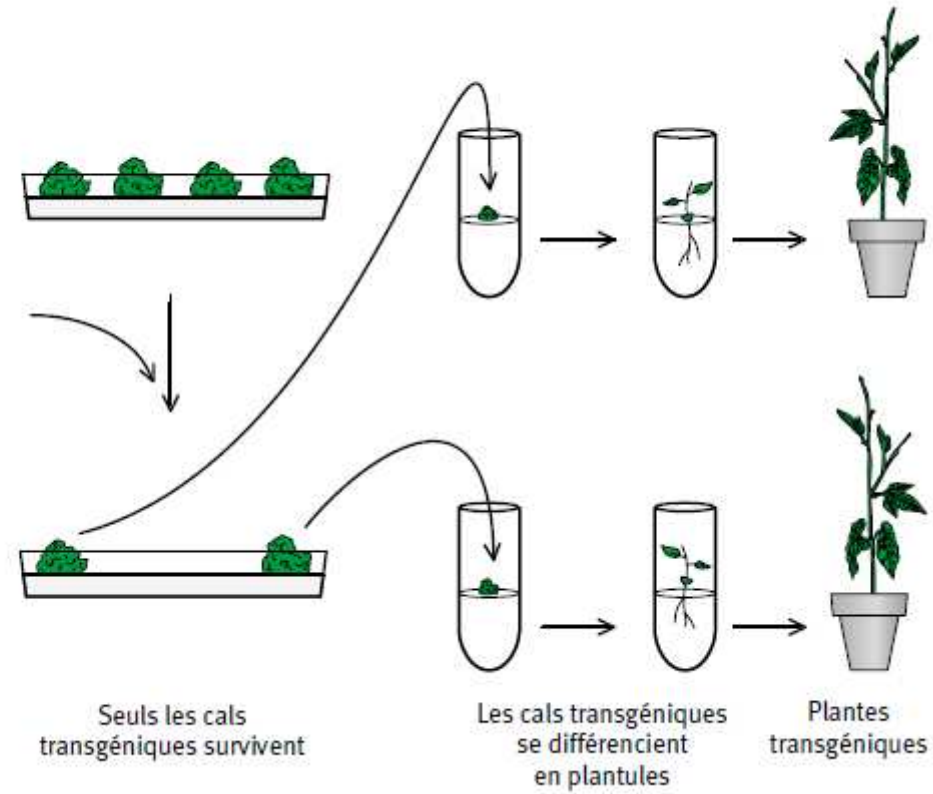
*Obtention et individualisation des 'cals'*

*Régénération via méthodes de culture in vitro (CIV)*



*Individualisation et régénération plantes entières*

*Passage en serre*



## Etape 4 : Incorporation dans une variété commerciale

Généralement par rétrocroisement

## **Applications de la transgénèse végétale**

### **- Agronomiques et Industrielles**

Production enzymes, plastiques...

Organismes avec avantages économiques, agronomiques...

### **- Production de molécules d'intérêt thérapeutique**

Production vaccins, anticorps, hormones., substances bioactives

### **- Recherche Fondamentale**

Fonction des genes

Promoteurs

Adressage Cellulaire

Interaction proteine/proteine...



# Exemples de Plantes génétiquement modifiées

Caractère	OGM	
<p><b>Résistance aux herbicides selon l'une des deux stratégies suivantes :</b></p> <p>la plante transgénique produit une nouvelle protéine qui annule l'effet toxique de l'herbicide ou dans la plante génétiquement modifiée (PGM), la protéine normalement ciblée par l'herbicide est remplacée par une nouvelle protéine non sensible à l'herbicide</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maïs-grain</li> <li>- Soja</li> <li>- Lin</li> <li>- Colza</li> <li>- Coton</li> <li>- Betterave sucrière</li> <li>- Luzerne</li> <li>- Riz</li> </ul>	
<p><b>Résistance aux insectes</b></p> <p>Les plantes transgéniques produisent leur propre toxine Bt. Les toxines sont dites Bt car naturellement produites par des bactéries, Bacillus thuringiensis que l'on trouve dans le sol. Il y a plusieurs variantes de protéines Bt conférant ainsi des résistances à des insectes spécifiques. Par exemple, la protéine Cry1Ab confère une résistance contre certains papillons.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maïs-grain Bt résistant à la pyrale</li> <li>- Pomme de terre Bt résistante au doryphore de la pomme de terre</li> <li>- Tomate Bt résistante aux lépidoptères</li> </ul>	
<p><b>Mûrissement retardé</b></p>	<p>Tomate</p>	
<p><b>Changement de la composition nutritionnelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation de la teneur en vitamine A</li> <li>- Augmentation de la teneur en lysine, acide aminé essentiel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riz doré</li> <li>- Maïs</li> </ul>	

## Phytoremédiation

- Dépollution de sols (métaux lourds, eaux usées) Moutarde

## Caractère Pharmaceutique

- Production d'anticorps
- Production molécule intérêt thérapeutique (insuline, hémoglobine,,,) )

## Conclusions

La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu (volontairement ou empiriquement) des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages.  
(Domestication)

Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité.

Les techniques de croisement permettent d'obtenir de nouvelles plantes qui n'existaient pas dans la nature (selection massale, généalogique, lignée pure)

Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées. (Agrobacterium, OGM)