

Université Frères Mentouri- Constantine 1
Master 2, Biologie et Physiologie Végétale.
Option : Biologie et Physiologie de la Reproduction

2018-2019

Méthodes de création de variétés et de sélection

Cours conçus par :

Dr BOUCHOUKH Imane

I- Généralités :

1- L'amélioration des plantes :

L'amélioration des plantes peut être définie comme l'art et la science de la création de variétés de plantes répondant de mieux en mieux aux besoins de l'Homme.

Il s'agit de réunir dans un même génotype, ou groupe de génotypes, la variété, le maximum de gènes favorables.

L'amélioration génétique des plantes consiste à créer de nouvelles variétés à partir des variétés existantes (diversité génétique). Ce transfert de gène se fait par croisements dirigés et sélection des meilleures plantes issues de ces croisements (ceci nécessite la connaissance des modes de reproduction).

D'autres moyens de création de variétés performantes existent dont la mutagenèse, la fusion des protoplastes, la transgénèse et les variations somatiques.

L'amélioration génétique des plantes est le processus par lequel l'Homme modifie une espèce végétale donnée en exploitant la diversité génétique préalablement existante. En puisant dans la diversité, l'Homme recombine les gènes par plusieurs méthodes dont les croisements dirigés. Il pratique ensuite une sélection (tri) et une multiplication du matériel végétal porteur des traits agronomiques désirés. L'inscription au catalogue des variétés améliorées, précède la commercialisation du produit final.

2- Origine des plantes cultivées :

Les nombreuses plantes utilisées par l'homme pour son alimentation, et ses autres besoins, ont été domestiquées à des époques plus ou moins lointaines. Cette domestication implique la protection, la propagation, la récolte, la conservation et l'extension des cultures par migration et échanges.

La culture entraîne automatiquement une évolution progressive des populations, qui les écarte des plantes sauvages dont elles dérivent ; cette évolution est une adaptation au nouvel environnement agricole. D'autre part, l'agriculteur a exercé une sélection inconsciente ou réfléchie, favorisant les individus les plus intéressants pour lui.

Les plantes domestiquées sont ainsi caractérisées par l'hypertrophie des organes récoltés (racines, tiges, feuilles, fleurs, fruits, graines), par leur rendement, leur précocité, l'uniformité, la facilité de conservation et d'utilisation, leur goût ou leur couleur.

Certaines familles ont été, dès l'origine de l'agriculture, une source particulièrement importante de formes domestiques : c'est le cas des graminées (Poacées) et des papilionacées (Fabacées), mises en valeur dans toutes les grandes régions du monde en raison de diverses caractéristiques, surtout de la valeur nutritive et de la facilité de conservation des graines.

L'action des agriculteurs a parfois transformé considérablement l'aspect des plantes : les affinités entre le maïs cultivé et le téosinte sauvage ne sont pas évidentes.

Pendant plusieurs millénaires parfois, cette sélection empirique a conduit beaucoup d'espèces essentielles pour l'homme à des rendements appréciables.

Il y a environ deux siècles que des sélectionneurs ont entrepris une amélioration des plantes domestiquées sur des bases scientifiques. Cependant, pour certaines espèces et dans des régions peu développées, des méthodes empiriques sont encore utilisées par les agriculteurs eux-mêmes.

II- Les modes de reproduction des plantes :

L'application des principes d'amélioration dépend beaucoup du mode de reproduction de l'espèce. Chez les autogames, les populations sont composées d'individus plus ou moins homozygotes et le premier objectif de l'amélioration est l'isolement de lignées supérieures.

Les allogames sont hétérogènes : le sélectionneur cherche à améliorer ces populations en maintenant une diversité importante (variétés synthétiques) ou privilégie l'uniformité par la création de variétés hybrides. Les plantes propagées par voie végétative sont des allogames où des génotypes sélectionnés sont cultivés sous forme de clones.

1- Répartition des sexes :

Les espèces **hermaphrodites**, c'est-à-dire munies à la fois d'un androcée et d'un gynécée, sont les plus nombreuses ; on distingue néanmoins des espèces **monoïques** (plante dont les organes reproducteurs mâles et femelles sont portés par le même individu) et des espèces **dioïques** (plante dont les organes reproducteurs mâles et les organes reproducteurs femelles sont portés par des individus différents).

Lorsqu'on passe au niveau des fleurs elles-mêmes, on qualifie de **monocline** les **fleurs hermaphrodites** (organes mâles et femelles sur la même fleur) et de **dicline** les **fleurs unisexuées**.

La répartition des sexes au niveau des individus et des fleurs permet de déterminer 4 catégories différentes :

a- l'hermaphrodisme (= plante **monoïque monocline**)

Une espèce est dite hermaphrodite lorsque chacune de ses fleurs est elle-même hermaphrodite (monocline), c'est-à-dire munie à la fois d'un androcée et d'un gynécée, par opposition aux fleurs unisexuées. C'est le cas de la très grande majorité des angiospermes.

Quand la fleur est hermaphrodite (monocline), la plante est automatiquement monoïque.

Quand la fleur est unisexuée (dicline) on a deux cas : espèce monoïque ou espèce dioïque.

b- la monoécie (= plante **monoïque dicline**)

Dans ce cas, chaque individu produit, comme chez les espèces hermaphrodites, des étamines et des carpelles, mais ces organes sont portés par des fleurs unisexuées différentes sur le même individu. Une plante monoïque portera donc des fleurs mâles (fleurs staminées) et des fleurs femelles (fleurs pistillées) sur le même individu. Un même génotype est donc à l'origine des cellules reproductrices mâles et femelles (comme pour l'hermaphrodisme).

c- la dioécie (= plante **dioïque dicline**)

Une espèce est dioïque quand ses fleurs mâles et ses fleurs femelles sont portées par des pieds différents. Il existe des plantes mâles portant uniquement des fleurs staminées et des plantes femelles portant uniquement des fleurs pistillées. Les organes reproducteurs mâles et femelles sont donc portés par des fleurs unisexuées différentes sur des individus différents. Avec la dioécie, les cellules reproductrices mâles et femelles sont formées à partir de deux génotypes différents.

d- la polygamie

Les espèces polygames forment à la fois des fleurs hermaphrodites et des fleurs diclines.

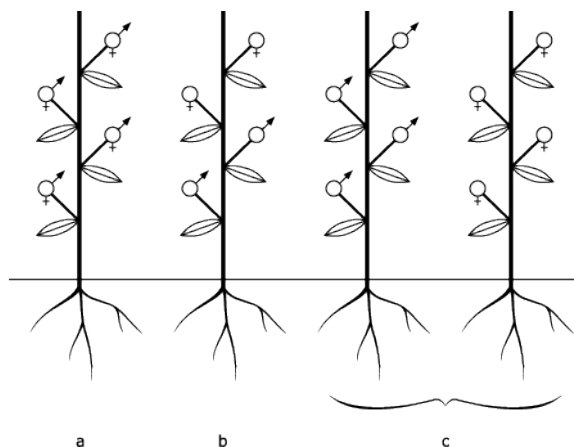


Figure1- Répartition des sexes chez les Angiospermes.

a. plante à fleurs hermaphrodites - b. plante monoïque dicline - c. plantes dioïques diclines

2- Reproduction sexuée :

Pour se reproduire, plusieurs espèces animales et algales, font rencontrer leurs ovules et leurs spermatozoïdes le plus proche possible. Certaines espèces, ne pouvant se déplacer, les relâchent dans l'espace environnant. Par exemple, les algues procèdent le plus simplement par libérer leurs ovules et leurs spermatozoïdes directement dans la mer. Chez les plantes, les gamètes mâles sont produits sous formes de pollen qui peut être déplacé de différentes manières pour aller germer sur le style (organe femelle). La dispersion du pollen n'est pas très économique, car elle est accompagnée de beaucoup de pertes. Pour compenser ces pertes les plantes (**anémophiles**, surtout) produisent d'énormes quantités de pollen.

Les plantes peuvent déployer des stratégies destinées à éviter la consanguinité et favoriser la fécondation croisée. Ainsi, plusieurs arbres fruitiers sont autostériles où l'autofécondation est rendue impossible par des auxines qui inhibent la germination du pollen provenant de leurs propres fleurs. Uniquement, les gamètes d'une plante différente pourront ainsi atteindre l'ovule. Chez d'autres plantes la maturité des fleurs mâles et des fleurs femelles est décalée dans le temps. Chez les fleurs hermaphrodites, c'est un décalage de maturité entre les étamines et les stigmates qui évite l'autofécondation.

Les insectes jouent un rôle capital dans la pollinisation des plantes **entomophiles**. Cependant, les plantes peuvent s'adapter à des conditions difficiles. Si les insectes pollinisateurs ne se présentent pas, ou si le temps est trop humide pour permettre la bonne diffusion du pollen, la fleur se féconde elle-même (autofécondation, pour sauver la mise en attendant de jours meilleurs). La campanule (genre *Campanula*) délaissée par les insectes finit par recourber ses stigmates pour les amener au contact des étamines.

D'autre part, Il existe des plantes qui utilisent systématiquement l'**autofécondation**. Ainsi, les pois et les haricots sont auto pollinisatrices, même si elles possèdent une fleur bien conçue pour être visitées par les insectes. Les céréales comme le blé et l'orge sont aussi des **autogames**.

Par contre les courges ou les cornichons (Cucurbitacées), avec leur floraison unisexuée (séparation des fleurs mâles et femelles sur la même plante), ne peuvent pas se passer d'insectes. Les fleurs femelles non visitées sont irrémédiablement perdues. Cependant, ce risque est minimisé par un étalement suffisant dans leur période de floraison. Ainsi, d'autres fleurs (plus chanceuses) leur assurent une progéniture.

a- Autogamie :

La fécondation de la plante est réalisée par son propre pollen. Les fleurs sont hermaphrodites (organes mâles et femelles dans la même fleur). La maturité des gamètes est simultanée.

Exemple: Blé

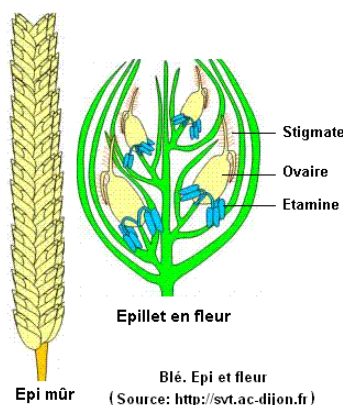


Figure2- Fleur du blé.

Les mécanismes qui interviennent sont le plus souvent d'ordre morphologique:

- Contact direct des stigmates (organes femelles) avec des étamines (organes mâles), ou proximité des deux organes reproducteurs,
- Protection vis-à-vis du pollen étranger, la fleur ne s'ouvrant pas ou peu.

Autres exemples de plantes à autogamie dominante: Avoine, orge, riz, sorgho, colza, coton, haricot, lin, pois, piment, soja, tabac, tomate, ...

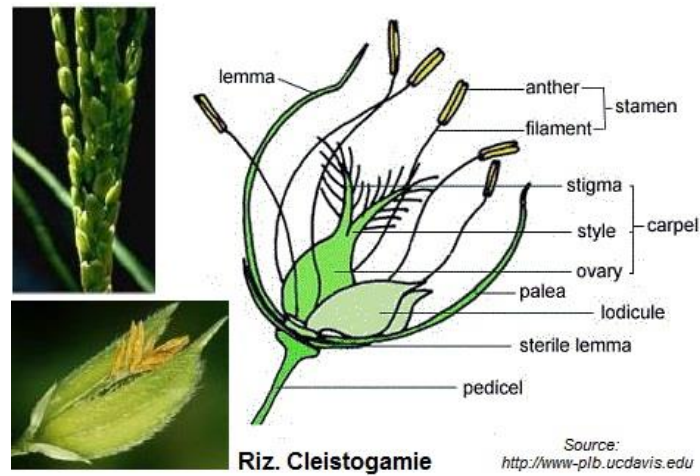


Figure3- Fleur du riz (cleistogamie)

Chez les plantes autogames, la dispersion du pollen est très faible. La fécondation peut avoir lieu avant même l'ouverture de la fleur. Ces plantes sont dites **cléistogames**.

Fécondation par le pollen d'une autre fleur (fécondation croisée)

b- Allogamie :

Chez les plantes allogames, la dispersion du pollen est importante. La fécondation est croisée. Celle-ci est favorisée par plusieurs mécanismes, dont la monécie (deux sexes séparés sur la même plante), la dioécie (sexes séparés sur des pieds différents), autoincompatibilité et compétition pollinique favorisant le pollen étranger et nécessité d'intervention des insectes.

• Flours hermaphrodites et existence de barrières :

- **Distylie**: deux types de fleurs : (à grands styles) et (à petits styles).

Une plante ne possède qu'un type de fleur.

L'allogamie est favorisée, car seules les pollinisations entre fleurs de formes différentes sont efficaces.

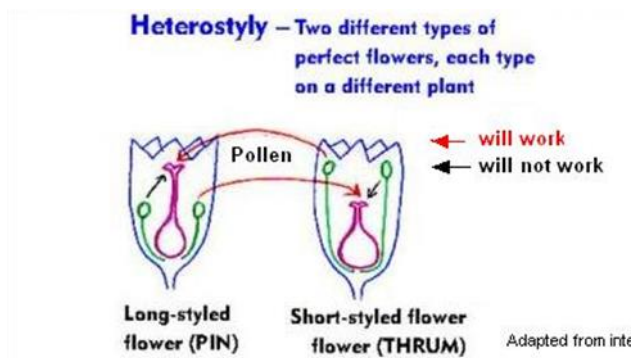


Figure4- La distylie.

- **Tristylie** : 3 différents types de fleurs, chacune sur une plante différente:
Un style court, étamine moyen et long
Un style moyen, étamine court et long.
Un style long, étamine court et moyen.

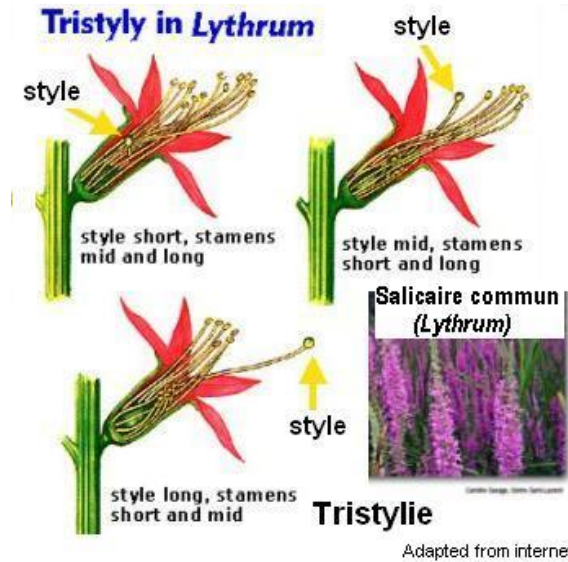


Figure5- Tristylie.

- Chez certaines légumineuses, le stigmate est protégé par une colonne staminale formée par des filets soudés entre eux. L'ouverture de cette colonne sous le poids des insectes (abeilles) met les stigmates en contact avec l'allopollen attaché aux corps de ces insectes, ainsi la fécondation croisée est assurée.

Ex: luzerne où il y'a intervention d'un insecte pour le transport du pollen et l'ouverture de la fleur.

- **Fleurs hermaphrodites et séparation des sexes dans le temps :**

Lorsque les organes sexuels n'arrivent pas à maturité en même temps sur la même fleur, on parle de **dichogamie** (2 cas):

- Si la partie femelle de la fleur est prête avant la libération des grains de pollen, on parle de **protogynie** (ex. avocatier)

- Si la partie mâle de la fleur est mature avant la partie femelle, on parle de **protandrie** (ex. carotte)

La Protogynie et la protandrie sont des mécanismes biologiques limitant l'autofécondation dans les plantes porteuses de fleurs hermaphrodites : dichogamie.

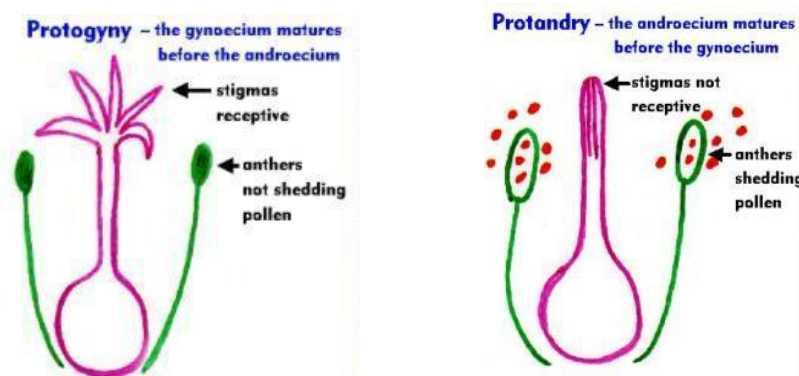


Figure6- La protogynie et la protandrie.

- **Monoécie et séparation des sexes dans l'espace :**

- **Plantes monoïques** (monoécie): les inflorescences mâles et femelles sont séparées, mais situées sur une même plante (plante bisexuée) dans des régions différentes. On parle dans ce régime d'**allogamie facultative**

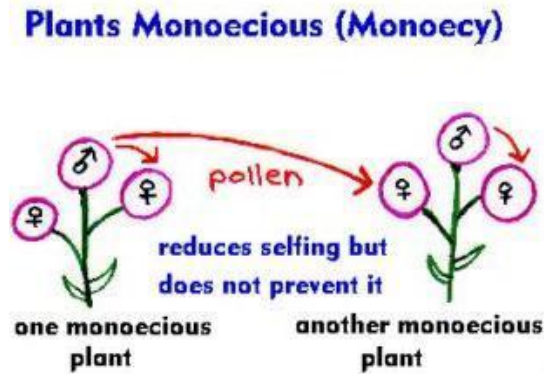


Figure7- Allogamie chez les monoïques.

Commune chez les plantes anémophiles telles que les fabacées (chêne, châtaignier,...) et bétulacées (charme). Très commune dans les régions tempérées.

Exemple: Concombre où les maturités des fleurs mâles et des fleurs femelles sont décalées dans le temps.

Autres exemples: melon, noyer, maïs, carotte, betterave, framboisier, Cèdre, châtaignier, hévéa, manioc, noyer, olivier, pin, ricin, sapin..

- **Dioécie et séparation des sexes dans l'espace :**

Les sexes sont séparés et portés par des plantes mâles et femelles différentes. Les plantes avec ce système reproductif sont dites **plantes à allogamie obligatoire**.

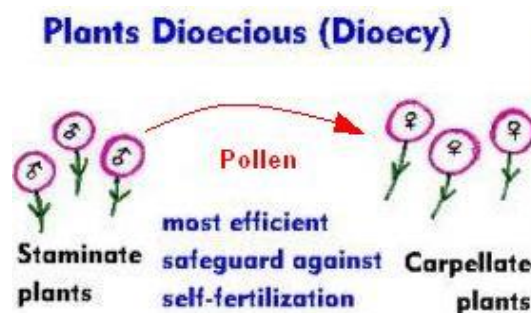


Figure8- Allogamie chez les dioïques.

Exemples: Asperge, chanvre, houblon, palmier dattier, peuplier, bananier, épinard, figuier, papayer,...

- **Stérilité et auto-incompatibilité:**

- **Stérilité** : organes reproducteurs non fonctionnels : pistil ou étamine mal formés, pollen ou ovule non fonctionnels.

- **Auto-incompatibilité** : absence d'aptitude pour une plante à donner des semences (graines) lorsqu'elle est autofécondée, bien qu'elle puisse donner des semences normales par la fécondation croisée. Son pollen est actif sur une autre plante.

3- La multiplication végétative :

La multiplication végétative repose sur l'aptitude d'un végétal à pouvoir reconstituer un individu, identique à lui-même, à partir d'un organe (tige, racine, feuille . . .), d'un tissu ou d'une cellule.

Elle est, depuis des siècles, largement utilisée pour reproduire de nombreuses espèces en horticulture, arboriculture....

Pour obtenir des pommes de terre, le cultivateur ne sème pas de graines : il plante des tubercules de pomme de terre. Pour fleurir le jardin, l'horticulteur met en terre des bulbes de tulipe ou de jacinthe. Cette reproduction sans graine et sans spore est appelée multiplication végétative. C'est une reproduction asexuée.

• Les différentes modalités de la multiplication végétative :

a- Le bourgeonnement :

Les lentilles d'eau (*Lemna* sp., *Spirodela* sp. et *Wolffia* sp.) sont des végétaux de petite taille (4 à 5 mm) qui flottent, par exemple, à la surface d'une mare. Au printemps, l'eau est rapidement envahie par les lentilles d'eau qui bourgeonnent. Chaque lentille d'eau fabrique une nouvelle feuille qui grossit, puis se détache et forme une nouvelle plante. Cette multiplication ne fait donc pas intervenir de graines.

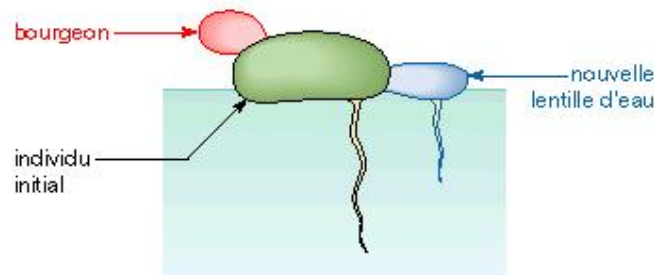


Figure9- Le bourgeonnement d'une lentille d'eau.

b- Les stolons :

Un pied de fraisier (*Fragaria* sp.) produit, au printemps et en été, de longues tiges horizontales, fines, rampantes : les **stolons**. À l'extrémité de chaque stolon, le bourgeon s'enracine avec des racines adventives, et donne un nouveau pied de fraisier.

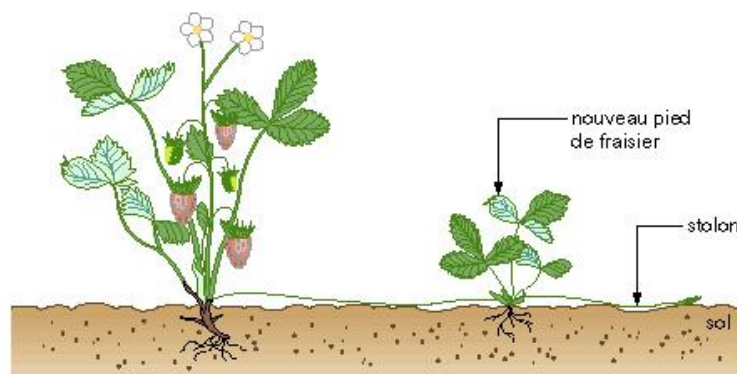


Figure10- Les stolons du fraisier.

c- Les rhizomes :

Un **rhizome** est une tige souterraine qui s'allonge et se ramifie. Elle permet ainsi la multiplication rapide de certains végétaux. Au printemps, le rhizome d'une fougère : le polypode (*Polypodium* sp.) s'accroît et se ramifie. Il produit de nouvelles feuilles en surface. Les parties les plus anciennes du rhizome finissent par disparaître. Les nouveaux pieds deviennent ainsi indépendants. Le chiendent, le lamier blanc, le muguet et l'asperge, dont les rhizomes très ramifiés sont appelés griffes, se multiplient de cette façon.

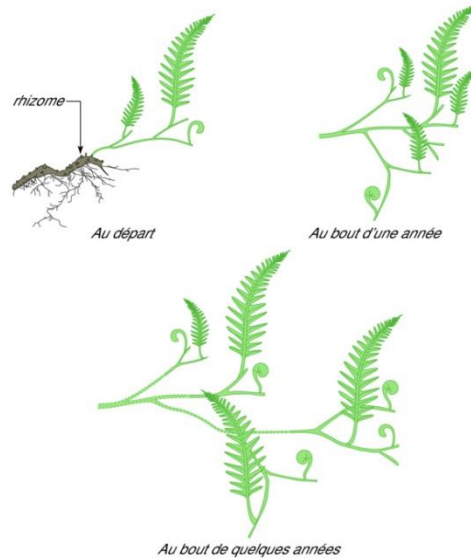


Figure11- Le rhizome du polypode.

d- Les tubercules:

Le **tubercule** de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est un fragment de tige souterraine contenant des réserves.

À partir d'un tubercule planté, on peut obtenir cinq, dix ou quinze nouveaux tubercules. Le tubercule initial germe et se développe à partir de racines. Il donne un pied de pomme de terre avec des racines, une tige portant des feuilles, puis des fleurs. Dans le sol, ce pied de pomme de terre forme, à l'extrémité des tiges souterraines, de nouveaux tubercules. Ces nouveaux tubercules grossissent par accumulation de réserves à partir de substances fabriquées dans les feuilles par la photosynthèse chlorophyllienne.

Le tubercule qui permet la multiplication des végétaux est soit une tige souterraine (pomme de terre) soit une racine (dahlia, ficaire).

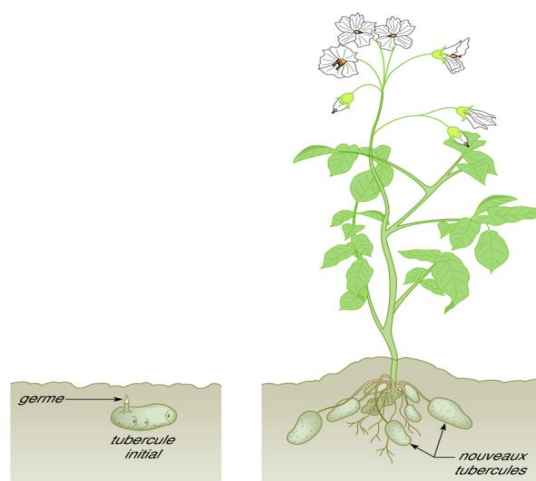


Figure12- Le tubercule de pomme de terre.

e- Les bulbes :

Un **bulbe** de tulipe (*Tulipa* sp.) est une tige souterraine (courte) portant des racines et des feuilles ou écailles charnues, riches en réserves. Les feuilles extérieures, protégeant le bulbe, sont sèches.

Au printemps, le bulbe germe. Il donne une nouvelle plante grâce aux réserves contenues dans les feuilles charnues du bulbe. Dans le sol, à l'intérieur de l'ancien bulbe vidé de ses réserves, se forme un nouveau bulbe et parfois des bulbes latéraux. Il y a donc multiplication du nombre de végétaux.

• La jonquille, l'ail, l'échalote, l'oignon, le narcisse, le perce-neige, la jacinthe se multiplient de cette façon.

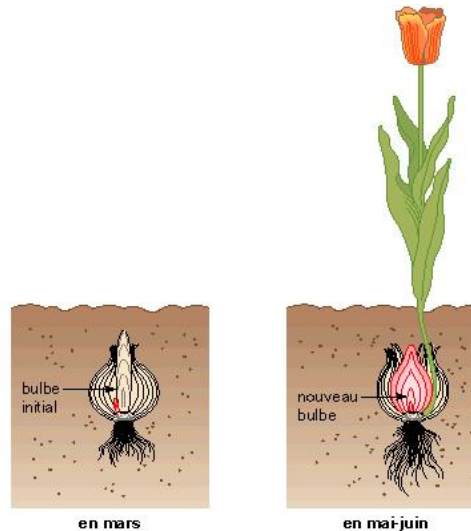


Figure13- Le bulbe de tulipe.

On utilise depuis longtemps la multiplication végétative naturelle des végétaux pour obtenir de nombreuses plantes en agriculture et en horticulture (pomme de terre, ail, fraisier, etc.) ou en floriculture (iris, narcisse, dahlia, etc.). Mais on sait également comment réaliser une multiplication végétative artificielle ; on utilise ainsi différentes techniques traditionnelles mais également des techniques plus récentes.

• **Les méthodes traditionnelles :**

a- **Le bouturage :**

Il consiste à placer en terre un fragment de végétal, la **bouture**. Ce fragment de végétal est souvent un morceau de tige portant des **bourgeons** (bouture de géranium, de rosier, etc.), mais elle peut être aussi une feuille (bouture de saintpaulia, de bégonia, etc.), au bout de quelque temps il y a apparition des racines :

On prépare des boutures de 15 à 20 cm, ayant au moins 4 à 6 nœuds avec des bons bourgeons. On les mets à terre avec une bonne orientation et en prendras soin de ne jamais enfoncer que les 2/3 inférieurs de la bouture.

Afin d'assurer la réussite des boutures ; il faut :

- les maintenir dans une terre fraîche
- les soustraire à une transpiration exagérée
- les boutures doivent porter peu de feuilles
- les boutures doivent présenter une section bien nette afin de faciliter la cicatrisation
- les boutures ne doivent être ni trop de jeunes ni trop vieille
- planter les boutures dans un sol bien aéré.

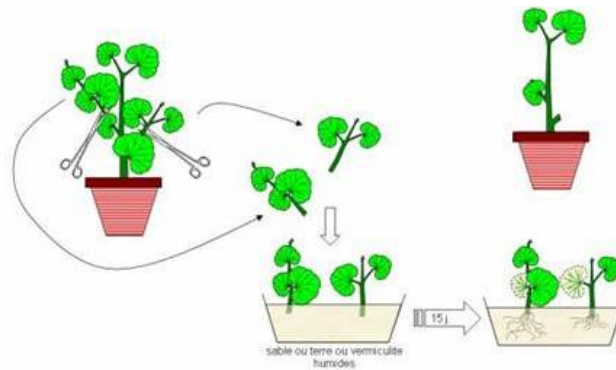


Figure 14- Bouturage de *Geranium* sp.

b- Le marcottage :

Le marcottage consiste à provoquer la formation de racines sur une partie de végétal AVANT de la séparer du pied mère.

Il y a plusieurs types de marcottage :

- **Le marcottage « par couchage » ou « en archet » :** est adapté aux plantes à rameaux souples. Il consiste à effeuiller puis enterrer la partie médiane d'une branche basse dans un trou. Un arceau permet de conserver cette partie sous terre. Un tuteur permet quant à lui de maintenir l'extrémité du rameau hors de terre.

La terre doit être gardée humide en permanence pour favoriser le développement de racines, mais drainée pour éviter le pourrissement de la tige.

Le marcottage « en serpenteau » est une dérivée du marcottage par couchage, il est adapté aux plantes grimpantes ou rampantes, comme la glycine (*Wisteria* sp.). La technique est la même que pour le couchage simple, mais les rameaux sont courbés à plusieurs endroits, afin d'obtenir rapidement plusieurs plants.

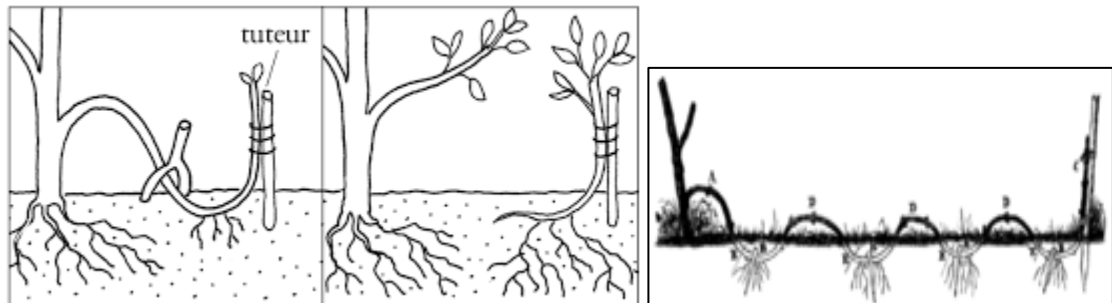


Figure15- Marcottage par couchage et en serpenteau

- **Le marcottage « en butte » ou en cépée** est adapté aux plantes émettant facilement des rejets comme les fruitiers et les porte-greffes. Durant l'hiver, la plante mère est rabattue à une dizaine de centimètres du sol. De nouveaux rameaux se forment durant le printemps. Quand ils atteignent une hauteur de 10 cm environ, la technique consiste à former une butte autour des rameaux avec un mélange de sable et de terre. A l'hiver suivant, des racines se seront formées à la base de chaque rameau, qui pourront alors être sevrés et replantés.



Figure16- Marcottage en butte.

- **Le marcottage aérien :**

Cette technique est pratiquée sur les plantes à port dressé et à tiges rigides et sur des rameaux dont on ne peut modifier la position, c'est à dire que l'on ne peut amener vers le sol, il faut donc amener le sol à l'endroit que l'on désire enraciner ; c'est le cas de nombreuses plantes de serre en pot dont les tiges ne sont pas facilement pliables comme les Ficus, les Dracenas, les Dieffenbachias, les Philodendrons...

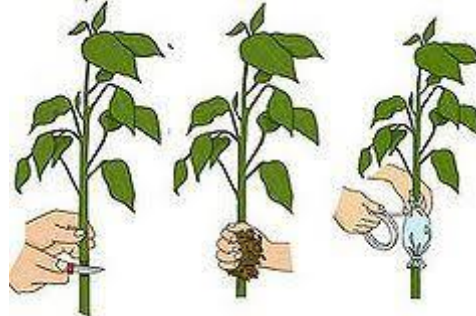


Figure17- Marcottage aérien.

c- **Le greffage :**

Il consiste à implanter un fragment du végétal, le **greffon**, sur un autre végétal, le **porte-greffe** plus résistant. Le greffon se développe sur le porte-greffe en donnant des rameaux, des feuilles, des fleurs, puis des fruits. La greffe est surtout utilisée pour les arbres fruitiers et pour la vigne.

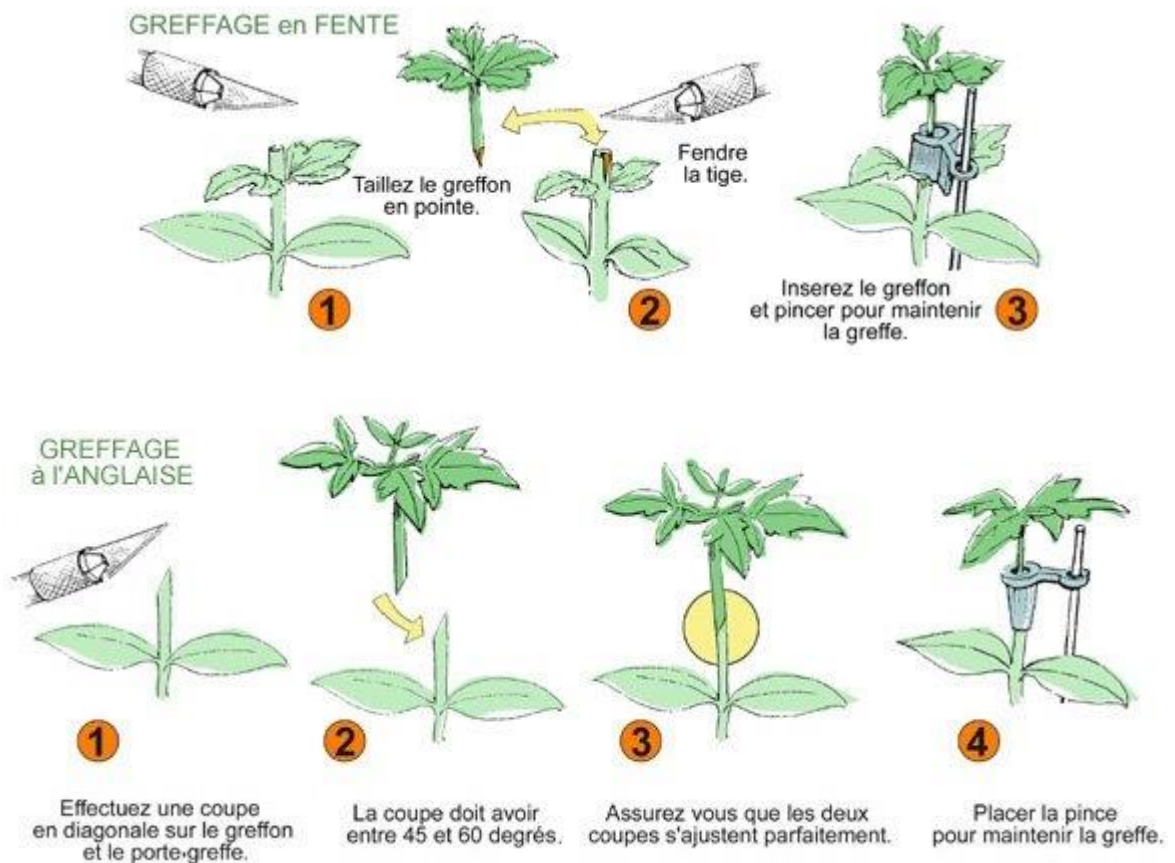


Figure18- Le greffage.

• **La multiplication végétative moderne :**

La culture *in vitro* (ou en éprouvette) est apparue plus récemment. Cette technique consiste à prélever un bourgeon végétal d'environ 0,1 mm que l'on met ensuite en culture dans un milieu favorable. On obtient une microbouture que l'on fragmente. Les fragments cultivés donnent de nouvelles microboutures. Le microbouturage peut se répéter toutes les quatre semaines. À partir d'un seul fragment végétal, on obtient, en un an, 200 000 à 400 000 **individus identiques**. On peut appliquer la culture *in vitro* à de nombreux plants : rosiers, pommes de terre, framboisiers, fraisiers.

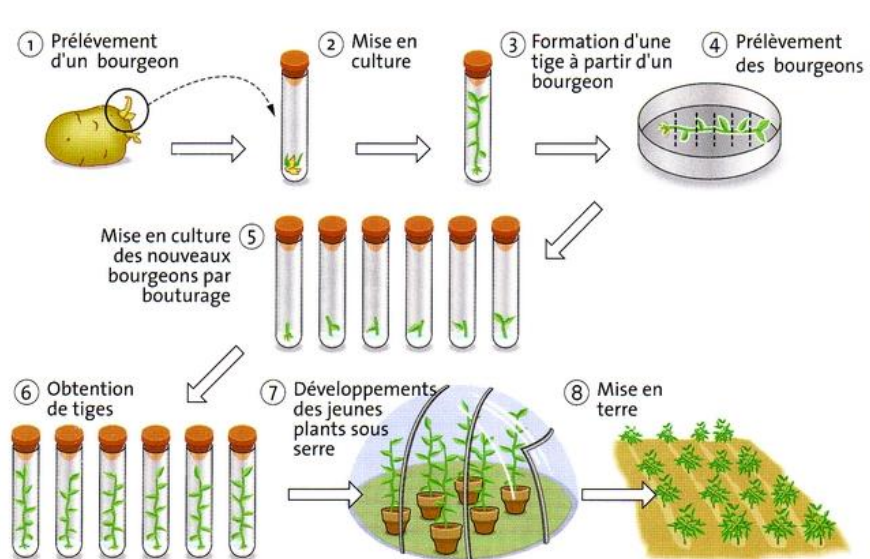


Figure 19- La culture *in vitro* de la pomme de terre

• **Les avantages et les inconvénients de la multiplication végétative.**

a- Les avantages

- La multiplication végétative est un moyen efficace pour coloniser rapidement un milieu favorable. Elle permet d'obtenir plusieurs descendants à partir d'un seul et même individu. Ces descendants sont non seulement parfaitement identiques entre eux, mais aussi identiques à la plante mère. Ils forment un **clone**. La multiplication végétative assure donc la stabilité des caractères dans la descendance. On peut ainsi **augmenter la production** de végétaux choisis pour leurs qualités.

- La culture *in vitro* permet également de **sauver certaines espèces** (ce fut le cas de la variété de pomme de terre appelée Belle de Fontenay). En effet, grâce à la culture *in vitro* la nouvelle plante obtenue est saine, même si le pied mère était malade.

b- Les inconvénients

- La colonisation se fait, généralement, dans le milieu proche de l'individu initial. Comme les individus obtenus sont identiques à l'individu de départ, ils vont réagir de la même façon à certaines modifications de leur milieu de vie (variation de température, baisse de la nourriture, apparition d'une maladie). En cas de maladie, par exemple, tous les individus disparaissent.

- La trop forte propagation de certaines variétés au détriment d'autres peut aussi réduire la biodiversité.

Notions principales :

1- L'espèce :

Au niveau du classement du monde végétal, l'espèce est le rang auquel les plantes sont, le plus souvent, connues. Ce rang est important car il caractérise un groupe de plantes qui ne peuvent se reproduire qu'entre elles.

Historiquement, l'espèce fut définie par la morphologie : on regroupait dans la même espèce des individus qui se ressemblent.

Une étape importante dans la définition de l'espèce fut franchie aux XVII^e et XVIII^e siècle avec l'introduction de l'interfécondité et de l'isolement reproducteur comme critère de définition. Ainsi, John Ray (1627-1705) définit-il une espèce comme « l'ensemble de tous les variants qui sont potentiellement les rejetons des mêmes parents » et Buffon (1707-1788) comme « une succession constante d'individus similaires qui peuvent se reproduire ensemble ». Cette définition biologique de l'espèce est celle qui a cours aujourd'hui, et la formalisation historiquement la plus utilisée en revient à Ernst Mayr (1942, 1974) : « Une espèce est une population ou un ensemble de populations dont les individus peuvent effectivement ou potentiellement se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde, dans des conditions naturelles. »

On peut définir une espèce comme l'ensemble des individus semblables, interféconds, et qui, après croisements, donnent une descendance identique aux parents.

2- La population :

En biologie et écologie, une population qualifie un groupe d'individus d'une même espèce, occupant une zone géographique spécifique et généralement plus ou moins isolé d'autres groupes de cette espèce. La population biologique est un ensemble d'organisations ou d'individus de la même espèce qui coexistent dans le même espace et la même période et qui partagent certaines propriétés biologiques.

3- La variété :

En botanique et en mycologie, une variété (du latin *varietas*, « qui diverge ») est un rang taxinomique de niveau inférieur au rang d'espèce « infraspécifique ».

Ce rang, intercalé entre celui de « sous-espèce » et celui de « forme » permet de circonscrire et de regrouper plus finement un ensemble d'individus (une population) différant légèrement des autres individus de la même espèce, par un ou plusieurs caractères considérés comme mineurs, c'est-à-dire ne justifiant pas la création d'une nouvelle espèce, car ils possèdent par ailleurs tous les caractères diagnostiques entrant dans la définition de cette espèce.

Il s'agit le plus souvent de différences morphologiques (anatomiques), chimiques ou organoleptiques (couleur, odeur), écologique (habitat, substrat), caractères qui sont censés évoluer en dehors du courant génétique de la variété type.

La variété est désignée par un trinôme : Un nom générique, suivi d'une épithète spécifique et d'une seule épithète infraspécifique. Les deux épithètes à la suite le nom de genre doivent être séparées par l'indication abrégée du rang *varietas* : var. ou v.

En agriculture, la variété correspond à une population de plantes d'une espèce donnée qui a été sélectionnée et cultivée souvent depuis des millénaires pour des caractères répondant aux besoins des hommes.

Au cours du 20^e siècle, l'homogénéité et la stabilité des variétés ont été privilégiées, pour garantir aux utilisateurs l'identité de la variété, pour homogénéiser les cultures et pour faciliter le travail des utilisateurs et des transformateurs avec des productions de qualité régulière.

La Convention de l'Union internationale pour la protection des obtentions végétales (UPOV) définit la variété comme : « un ensemble végétal d'un taxon botanique du rang le plus bas connu qui, qu'il réponde ou non pleinement aux conditions pour l'octroi d'un droit d'obtenteur, peut-être :

- défini par l'expression des caractères résultant d'un certain génotype ou d'une certaine combinaison de génotypes,
- distingué de tout autre ensemble végétal par l'expression d'au moins un desdits caractères et
- considéré comme une entité eu égard à son aptitude à être reproduit conforme. »

Cette définition précise qu'une variété doit être reconnaissable à ses caractères, différer notablement de toute autre variété et demeurer inchangée au cours du processus de reproduction ou de multiplication.

4- Le cultivar :

Un cultivar est une variété de plante (arbres compris) obtenue en culture, généralement par sélection, pour ses caractéristiques réputées uniques. Il peut s'agir de qualités morphologiques, esthétiques, techniques, de vitesse de croissance (pour les arbres par exemple), d'adaptation à un biotope ou de résistance à certaines maladies.

Le terme cultivar est synonyme de « variété cultivée » ou « variété horticole », et plus communément « variété ». Mais il est essentiellement différent de la *varietas* ou variété botanique.

Les noms de cultivars sont gérés par le Code international pour la nomenclature des plantes cultivées, alors que les noms de *varietas* le sont par le Code botanique.

5- La biodiversité et la diversité génétique :

La **biodiversité** étudie les espèces existant dans un environnement ou écosystème déterminé. Aussi bien les plantes, que les animaux et microorganismes contribuent par leurs espèces si nombreuses et différenciées, à la richesse du globe en êtres vivants. La **diversité génétique** s'intéresse aux variations au sein de la même espèce. Elle s'exprime en termes de cultivars ou variétés. Plus que jamais, la biodiversité et la diversité des espèces sont menacées actuellement par l'avancée de la pollution, le réchauffement de la terre et les changements climatiques variés. En termes d'espèces existantes sur terre, on avance le chiffre de 10 millions où uniquement 1,4% sont connues de l'Homme.

L'évaluation de la **diversité génétique** des ressources naturelles est un préalable indispensable à la définition des stratégies de leur gestion ou leur amélioration génétique. La diversité génétique est liée au **polymorphisme** montré par les espèces.

Les informations obtenues au niveau phénotypique sont souvent difficiles à interpréter, car, il s'agit de variations continues où de nombreux gènes peuvent y être impliqués. Les marqueurs génétiques de types protéique, enzymatique ou nucléiques, dont l'expression est indépendante de l'environnement peuvent être utilisés pour caractériser les populations et évaluer leur diversité génétique aux niveaux intra- et inter-populations.

6- La variabilité génétique :

La variabilité génétique est le pouvoir du matériel à changer sous l'effet du génotype. L'accroissement de la variabilité génétique d'une population est possible grâce à la mutagenèse et aux croisements interspécifiques.

La variabilité génétique est le fondement de tout programme de sélection. En absence de variabilité génétique, il n'est pas possible de créer dans une espèce, une nouvelle variété. Lorsqu'elle diminue ou se stabilise, le matériel obtenu se stabilise ou se fixe également (cas des lignées). En cas de forte diminution (érosion génétique), des gènes peuvent être perdus. Cependant, lorsqu'elle augmente, il y a possibilité d'obtenir pour des caractères donnés, différentes variétés.

L'étude de la variabilité génétique peut être prise en compte pour des caractères agronomiques spécifiques ou pour la croissance globale du végétal.

7- Le polymorphisme :

Le polymorphisme est la propriété qu'ont les individus d'une espèce de se présenter sous plusieurs formes différentes. Le **polymorphisme génétique** se définit par l'existence de plusieurs allèles (formes différentes d'un même gène) dans une population créant des caractères phénotypiques différents. Ce phénomène résulte des mutations génétiques. On parle de polymorphisme (qui vient des mots grecs « poly » - plusieurs - et « morphê » - forme) lorsque ces formes représentent au moins 1% de la population. Le polymorphisme est un des éléments de la diversité génétique qui répond souvent au besoin d'adaptation dans un environnement donné.

8- La domestication des plantes :

Depuis le début de l'agriculture, les agriculteurs gardent, à chaque génération, les graines des plus belles plantes, afin de les replanter l'année suivante.

Le fait de garder les meilleures graines amène progressivement à une amélioration de l'espèce cultivée. La domestication de variétés sauvages s'accompagne d'une sélection des caractères utiles comme :

- Taille des parties consommables (graines, tubercules)
- Saveur
- Résistance aux contraintes
- Autres traits.

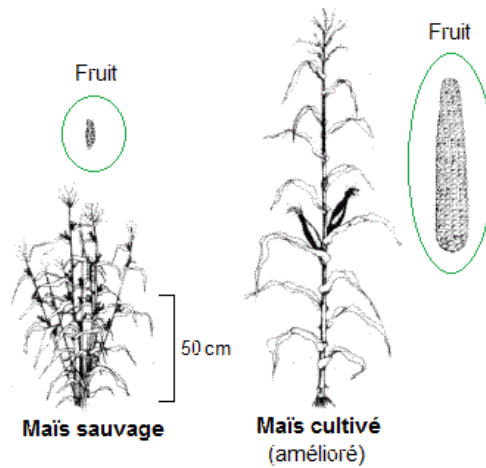


Figure20- Domestication du maïs.

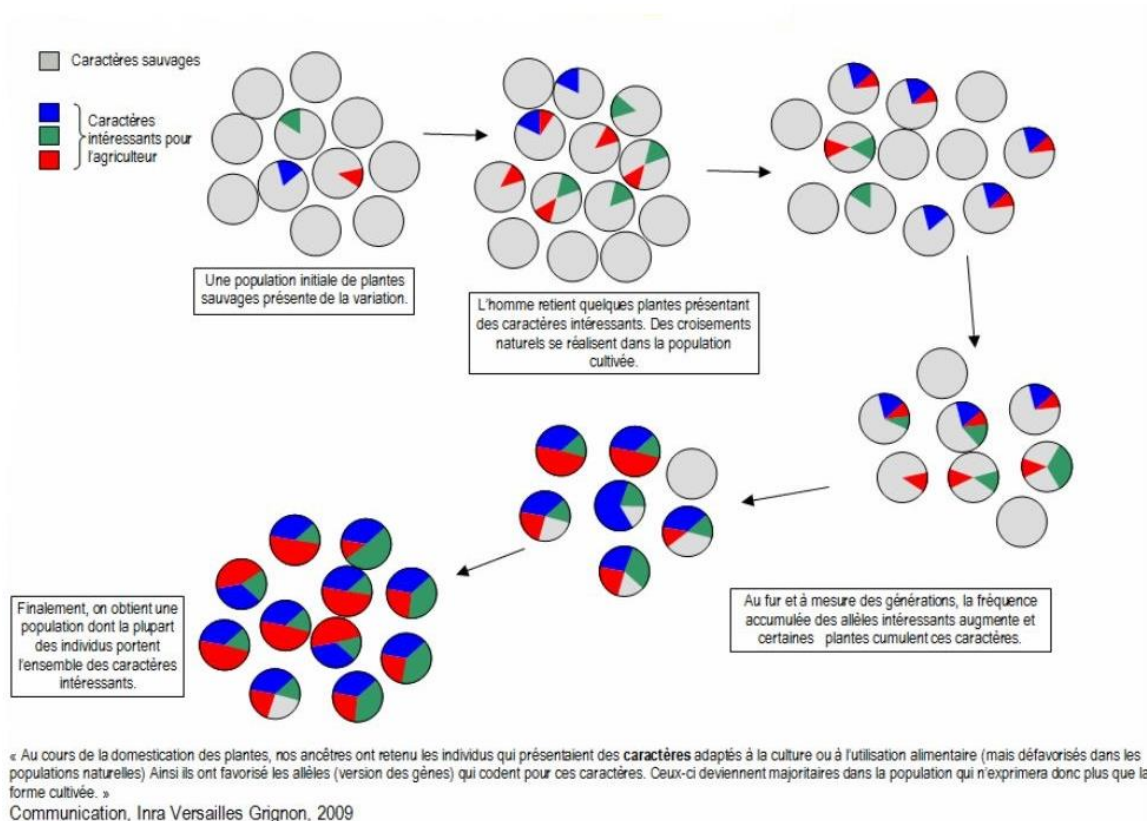


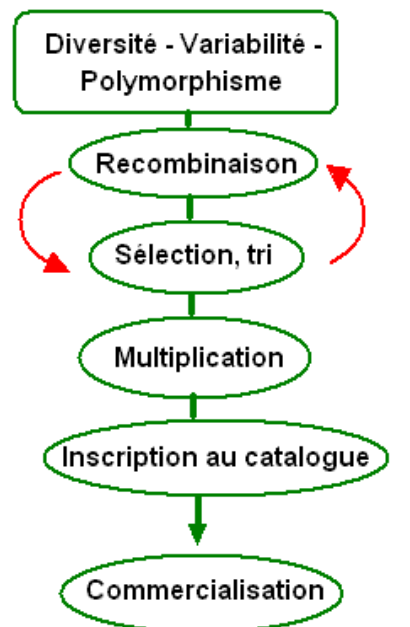
Figure21- Mécanisme de domestication : de la plante sauvage à la plante cultivée.

9- L'amélioration génétique des plantes :

Elle consiste à créer de nouvelles **variétés** à partir des variétés existantes (diversité génétique). Ce transfert de gène se fait par croisements dirigés et sélection des meilleures plantes issues de ces croisements (ceci nécessite la connaissance des modes de reproduction).

D'autres moyens de création de variétés performantes existent dont la mutagenèse, la fusion des protoplastes, la transgénèse et les variations somatiques.

L'amélioration génétique des plantes est le processus par lequel l'Homme modifie une espèce végétale donnée en exploitant la diversité génétique préalablement existante. En puisant dans la diversité, l'Homme recombine les gènes par plusieurs méthodes dont les croisements dirigés. Il pratique ensuite une sélection (tri) et une multiplication du matériel végétal porteur des traits agronomiques désirés. L'inscription au catalogue des variétés améliorées, précède la commercialisation du produit final.



التحسين الوراثي. المراحل

Amélioration génétique. Etapes

III- Méthodes de la création de la variabilité génétique :

La création de variabilité (et en même temps création de nouvelles variétés) peut être réalisée par:

- **Croisements dirigés intraspécifiques ou interspécifiques** pour l'amélioration des espèces actuelles ou bien la création de nouvelles espèces ou éventuellement par culture *in vitro* d'embryons immatures. Plusieurs études font références aux essais de croisements interspécifiques.
- **Mutagenèse** par agents physiques (rayons X, gamma) ou chimiques (MSE) sur graines, méristèmes, pollen.
- **Modifications somatiques** fréquentes dans les pratiques de la culture *in vitro* à partir de fragments d'organes différenciés, de cellules isolées ou de protoplastes.
- **Fusion de protoplastes** (cellules isolées sans paroi pecto-cellulosique).
- **Transgenèse** concernant le transfert de gène par génie génétique.

La modification d'un génotype peut se faire à l'échelle qualitative en changeant la nature des gènes qui contrôlent les caractères recherchés (couleur, résistance aux maladies, ..) et en agissant sur leur assemblage. Elle peut être pratiquée à l'échelle quantitative en modifiant le dosage de l'information génétique par augmentation ou diminution du nombre des chromosomes d'une espèce.

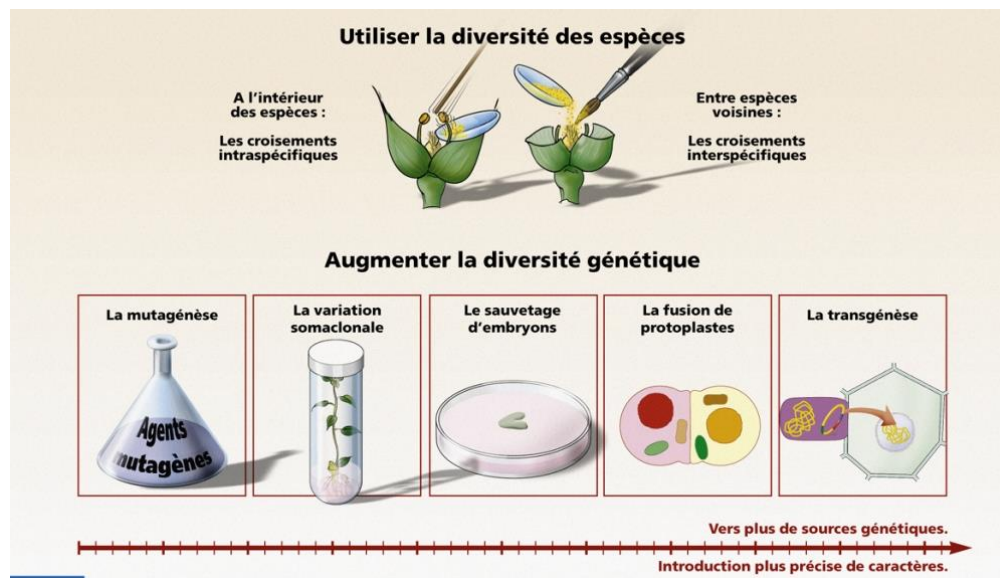


Figure22- Techniques de création de variétés

1- Création de variétés par croisements dirigés intraspécifiques ou interspécifiques :

Les gènes d'intérêt qui seront introduits dans une espèce donnée, sont recherchés chez une variété voisine d'une même espèce (croisement intraspécifique). Plus la variabilité génétique est large dans une espèce, meilleure sera la chance de trouver le gène intéressant. Dans le cas contraire, on peut faire appel à des géniteurs d'espèces voisines ou même de genres voisins (croisement interspécifique). Le géniteur peut être intraspécifique ou interspécifique.

- **Géniteur intraspécifique:** le téosinte (*Euchena mexicana*) est l'ancêtre sauvage du maïs cultivé (*Zea mays*).
- **Géniteur interspécifique:** La tomate, présentant une faible variabilité intraspécifique, est améliorée par géniteurs interspécifiques, en particulier pour l'introduction des résistances aux maladies.

Exemple : Le gène Tm-2 de la résistance à la mosaïque du tabac et des gènes de résistance aux insectes, ont été introduits chez la tomate cultivée (*Lycopersicum esculentum*) à partir des espèces voisines; *L. peruvianum* et *L. hirsutum*, respectivement.

- Le sauvetage d'embryon interspécifique :

Lors de croisements interspécifiques, des barrières naturelles empêchent le développement complet de

l'embryon. Pour remédier à cette situation, on pratique après fécondation un prélèvement précoce des embryons pour les mettre en culture sur un milieu artificiel nutritif. Cette technique de culture in vitro est appelée **sauvetage d'embryons interspécifiques**.

Avant la phase de maturation de la graine, l'embryon est prélevé, puis, transplanté et cultivé sur un milieu artificiel riche en sucre, permettant la régénération d'une plante nouvelle.

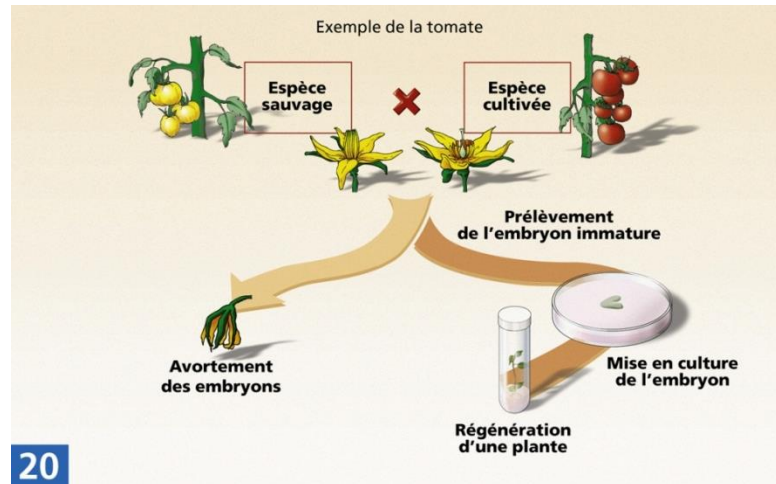


Figure23- Croisement interspécifique et sauvetage d'embryon

Le transfert de gènes par croisements dirigés est lié aux modes de reproduction (autogamie, allogamie) des plantes.

2- Création de variétés par mutagenèse :

Les travaux de Müller sur la drosophile montrent qu'on peut provoquer l'apparition de mutation par traitement avec des rayons X. Dans les années 1930, cette méthode est utilisée pour générer de la variation chez les plantes cultivées, et sélectionner les mutants présentant des qualités intéressantes.

Le terme mutation est utilisé pour désigner une **modification irréversible** de l'information génétique et héréditaire dans la séquence d'un génome. Autrement dit c'est la modification brusque et irréversible du matériel génétique aboutissant à une variation de la séquence des bases azotées de l'ADN. Lorsqu'une mutation apparaît dans une cellule sexuelle, ou gamète, elle est transmissible à la descendance et, le plus souvent, stable.

a- Mutations géniques (ponctuelles) :

Les mutations géniques (alléliques) sont les mutations ponctuelles qui modifient les nucléotides de l'ADN d'un gène. Ces mutations sont à l'origine de la richesse des formes alléliques.

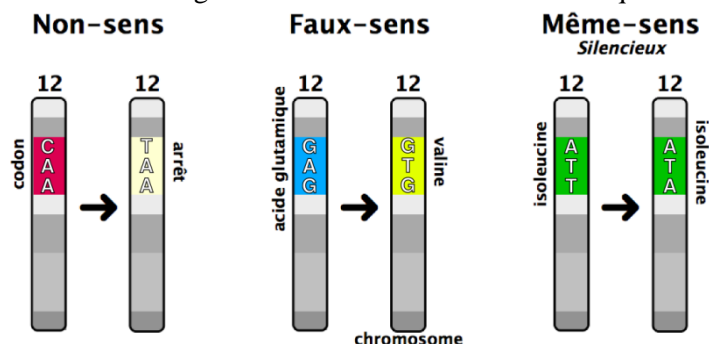


Figure 24- Mutations ponctuelles

b- Mutations chromosomiques :

Elles apparaissent dans le caryotype (détectables cytologiquement) et peuvent altérer la structure d'un chromosome ou le nombre des chromosomes. L'altération structurale des chromosomes permet de :

- rompre des liaisons entre gènes défavorables et gènes favorables,
- Associer un gène d'intérêt avec un gène marqueur pour repérer le premier. Exemple chez l'orge: associer le gène de stérilité mâle avec le gène d'absence de chlorophylle.

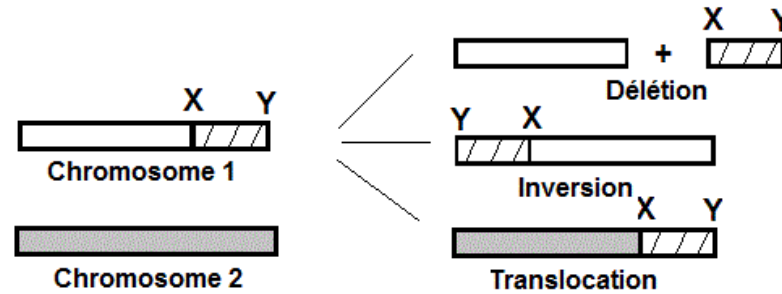


Figure 25- Mutations chromosomiques.

c- Mutations génomiques :

Les mutations génomiques ont lieu lorsqu'une configuration chromosomique entière est répliquée. Dans la nature, ces phénomènes, qui se produisent rarement, sont résumés sous le terme « polyploïdie ». Un individu polyploïde peut naître de la fusion des gamètes de deux espèces différentes, ou de la non réduction du nombre chromosomique pendant la méiose. Les mutations génomiques sont en général désastreuses pour un organisme, car elles bouleversent le fragile équilibre des fonctions de milliers de gènes. Malgré cela, il est fréquent que de nouvelles variétés de plantes voient le jour par polyploïdie.

Euploïdie : modification régulière du nombre (haploïdes, diploïdes, tétraploïdes, ...)

Aneuploïdie : Existence d'un surnombre de chromosomes. Exemple d'une trisomie $2n + 1$, tétrasomie $2n + 2$, monosomie $2n$

d- Mutations cytoplasmiques :

Qui existent en général chez les angiospermes et se localisent dans les chloroplastes et les mitochondries transportés par la mère. Elles sont mises en évidence par des croisements réciproques.

Exemple : Stérilité-mâle cytoplasmique :

Pour produire une variété hybride, il faut disposer d'une lignée mâle et d'une lignée femelle. Pour obtenir la lignée mâle, il faut généralement castrer la plante. Or la castration (manuelle ou mécanique pratiquée par exemple chez le maïs ou chimique pratiquée chez le blé) n'est pas toujours facile ou possible pour une production de semences à grande échelle. Des mécanismes de stérilité de type génétique ou cytoplasmique ont été découverts. Ils se manifestent par une absence d'anthères, des anthères vides ou du pollen non viable. Cette stérilité est transmise à la descendance partiellement dans le cas d'une stérilité génétique, ou totalement dans le cas d'une stérilité cytoplasmique. Très souvent, c'est une production de graines qui est recherchée pour la plante hybride. Dans ce cas, il convient de restaurer la fertilité. C'est le parent mâle de l'hybride qui aura cette fonction. Cette stérilité est engendrée par une interaction entre des gènes nucléaires et le cytoplasme en particulier les mitochondries. Elle se manifeste quand un gène de stérilité récessif est à l'état homozygote (rr) dans un cytoplasme stérilisant S que l'on oppose au cytoplasme normal N.

L'exemple du tournesol :

Création de la lignée mâle stérile

Une source de stérilité mâle a été découverte pour le tournesol. Cette stérilité est apportée par le cytoplasme d'une plante mâle stérile et transmise automatiquement à sa descendance par le cytoplasme de ses ovules.

La lignée mâle fertile de bonne qualité agronomique B, est convertie en son homologue mâle stérile nommée A, par une succession de rétrocroisements avec la plante mâle stérile découverte.

Production de l'hybride

L'hybride est obtenu par croisement de la lignée mâle stérile A avec une lignée restauratrice de fertilité R. Cette lignée apporte le gène dominant (R) qui annule l'effet stérilisant du cytoplasme S de la lignée A. Elle permet ainsi la pollinisation et par conséquent la production de graines sur les plantes hybrides de tournesol.

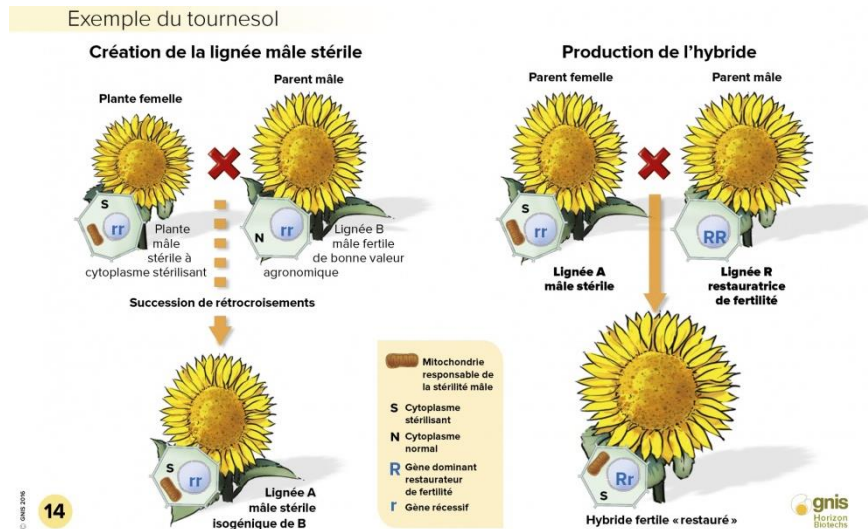


Figure26- La stérilité mâle cytoplasmique

• **Les agents mutagènes :**

- Certains types d'ondes électromagnétiques (rayons X, rayons gamma, les rayons ultraviolets).
- Des substances chimiques qui interagissent avec l'ADN (ou éventuellement avec l'ARN) tels que pesticides, dérivés de benzène, solvants, etc.
- Des substances chimiques qui interagissent avec des éléments impliqués dans la réplication de l'ADN, comme la colchicine qui empêche la formation du fuseau achromatique d'où une altération du nombre de chromosomes.

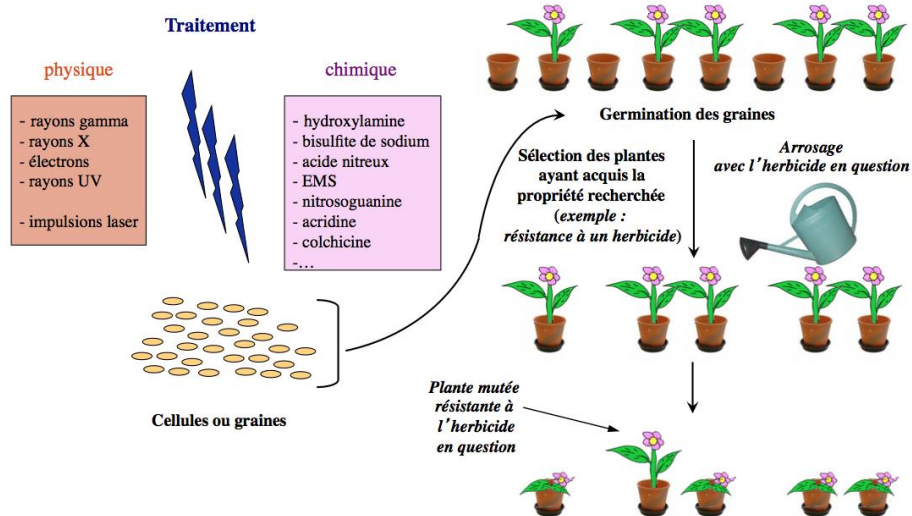


Figure27- création de variétés par mutagenèse.

3- Création de variétés par modifications somatiques :

Chez les plantes à brassage limité de gènes (multiplications végétative), il apparaît parfois des clones qui diffèrent de la plante mère. Ces individus sont appelés des variants somatiques. Ceci a été à l'origine de plusieurs variétés de pomme de terre et de pomme, en plus de la pamplemousse rose et de l'orange navel.

Les variations somatiques sont fréquentes dans les situations suivantes:

- Culture *in vitro* à partir de fragments d'organes différenciés (avec plusieurs repiquages).
- Culture de cellules isolées ou de protoplastes.

Les variants somatiques peuvent être porteurs de traits positifs (vigueur, juvénilité, précocité, résistance, ..) pour les améliorateurs.

Le déterminisme des variations somatiques produites en cours de régénération, reste complexe (information génétique nucléaire et extra-nucléaire). Le passage par le stade cal ou microcal lors de la régénération, serait déstabilisant et engendrerait ces modifications.

4- Création variétale par fusion de protoplastes (hybridation somatique) :

Le terme protoplaste signifie une cellule végétale débarrassée de sa paroi squelettique. Elle apparaît sous forme d'une cellule sphérique, limitée par sa membrane plasmique. La technique de préparation de protoplastes n'a été vraiment mise au point qu'à partir des années 1960, quand les enzymes dégradant la paroi cellulaire ont été purifiées et utilisées dans cette biotechnologie. Les protoplastes sont capables de fusionner pour donner des cellules à socks chromosomiques doubles. Si des variétés, espèces ou genres différents sont utilisés on obtiendra des **hybrides somatiques**.

a- Obtention des protoplastes :

La présence de la paroi pectocellulosique des cellules est une des barrières aux échanges d'information génétique. On peut séparer les cellules d'un tissu végétal grâce à l'action d'enzymes généralement extraites de champignons, qui dégradent la cellulose et les matières pectiques de la paroi. Des agents stabilisants sont ajoutés au milieu pour empêcher l'éclatement de la cellule. On obtient ainsi des cellules « déshabillées », qui deviennent sphériques : les protoplastes. Ces derniers peuvent être obtenus à partir de n'importe quel tissu végétal, mais ce sont généralement les parenchymes des jeunes feuilles qui sont utilisés pour leur préparation.

A partir de ces protoplastes, il est possible d'obtenir de nouvelles plantes. Si les conditions de milieu sont favorables, la paroi végétale se reconstitue. Les organites cellulaires se réarrangent et les cellules entrent en division. Elles donnent ainsi naissance à des microcolonies, puis des cals, amas de cellules indifférenciées. Transférés sur un milieu de régénération, les cals se développent en embryons somatiques qui donneront des plantules.

S'il est apparemment possible d'obtenir des protoplastes chez toutes les espèces végétales, leur culture puis la régénération d'une plante entière à partir des protoplastes posent encore de nombreuses difficultés et constituent une limite de cette technique. Il semble notamment que les monocotylédones soient plus récalcitrantes vis-à-vis de la culture des protoplastes que les dicotylédones.

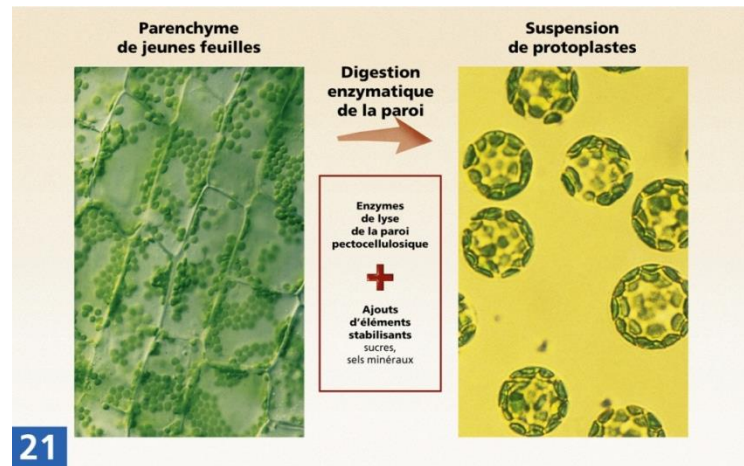


Figure28- Obtention des protoplastes

b- Hybridation somatique :

Au cours de la reproduction sexuée, les informations génétiques contenues dans le cytoplasme sont transmises par la mère. En revanche, la fusion de protoplastes conduit à une hybridation des noyaux, mais aussi à celle des cytoplasmes. Ceci est très intéressant pour le transfert et l'amélioration de caractères à hérédité cytoplasmique, comme la stérilité mâle. On parle d'hybridation somatique (car issue de cellules non reproductrices de la plante, Soma = corps). Les protoplastes sont des cellules chargées négativement et la fusion spontanée n'est que très rarement observée. La fusion est obtenue sous l'action de divers agents chimiques ou d'un choc électrique. La dernière étape consiste à induire la division des cellules. Elle aboutit à la formation de cals. Ensuite, la différenciation des tissus est provoquée pour reformer une plante entière. Les travaux de sélection commencent sur la descendance de l'hybride somatique.

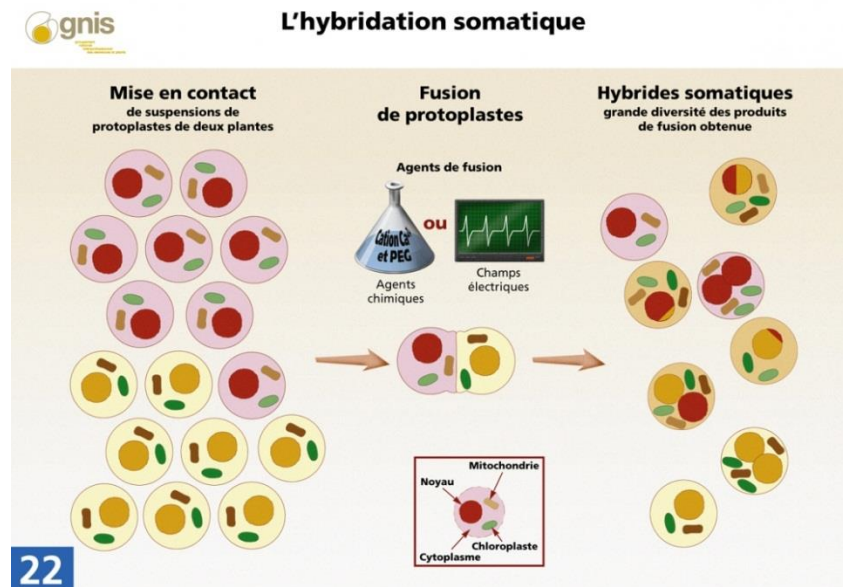


Figure29- Hybridation somatique

c- Hybrides somatiques retenus :

Lors de la fusion entre protoplastes, tous les échanges sont possibles entre les deux. On peut ainsi obtenir des degrés de fusion très variables.

Lorsque la fusion des noyaux a lieu, il peut y avoir une recombinaison plus ou moins importante entre les chromosomes des deux parents. Ce phénomène peut être utilisé pour transférer des gènes nucléaires.

On cherchera notamment à obtenir des hybrides somatiques asymétriques, où seuls quelques fragments d'ADN du parent donneur seront introduits dans l'espèce receveuse. En effet, les cas de fusion importante de génomes entre espèces conduisent à des plantes souvent stériles comme la pomate. Pour favoriser ce transfert partiel, l'ADN du parent donneur est déstabilisé par irradiation ménagée des protoplastes (rayons X ou Y) avant la fusion.

Très souvent, la fusion des noyaux n'a pas lieu et au cours des divisions successives, il ne subsistera que l'un des noyaux parentaux. Celui-ci sera associé à un cytoplasme composite ou recombiné. Il contient les organites cytoplasmiques de l'un ou l'autre parent.

On constate souvent une recombinaison des mitochondries.

En revanche, les chloroplastes de l'un des deux parents sont souvent éliminés. Il y a alors modification des relations nucléo-cytoplasmiques.

L'obtention de ces cybrides peut être également provoquée. On utilise dans ce cas des doses létales d'irradiation pour les cellules du parent donneur, afin d'inactiver complètement le noyau. Seuls seront transférés ses mitochondries et ses chloroplastes. Le parent receveur peut en plus être traité à l'iodo-acétate, entraînant le blocage de ses organites. Ainsi, les cybrides issus de la fusion seront constitués du noyau du parent receveur et des organites du parent donneur.

Les caractères sous la dépendance de l'ADN mitochondrial ou chloroplastique ne sont pas à négliger. Ainsi, la stérilité mâle cytoplasmique est un caractère résultant de l'interaction noyau-mitochondrie. On peut citer également la résistance aux herbicides qui est codée par l'ADN chloroplastique.

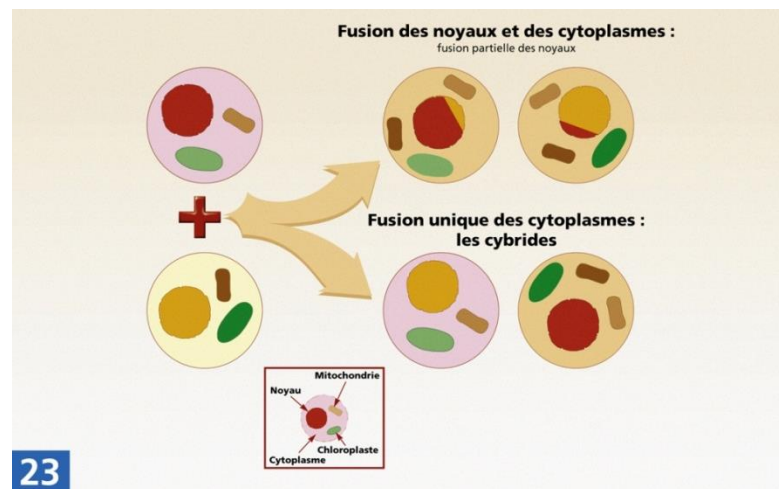


Figure30- Hybrides somatiques

Exemples :

- La première démonstration de fusion entre des protoplastes différents remonte aux travaux de Melchers *et al.*, en 1978. Il recherchait des tomates cultivables à basse température et réalisa, à cette fin, des hybrides entre la tomate et la pomme de terre par fusion de protoplastes : la pomate. Cette nouvelle espèce est malheureusement un exemple théorique, car elle est stérile.

- La pomme de terre cultivée, *Solanum tuberosum*, est une espèce chez laquelle l'introduction de caractères par fusion de protoplastes est facilement réalisable. Ainsi, on a pu introduire des gènes de résistance

- De nouvelles lignées mâles stériles de colza résistantes à l'atrazine ont pu également être obtenues par cette t

5- La transgénèse :

Le génie génétique désigne l'ensemble des techniques permettant d'introduire et de faire exprimer dans un organisme vivant un ou des gènes provenant de n'importe quel autre organisme. Les organismes ainsi obtenus sont dits Organismes Génétiquement Modifiés (OGM). On distingue les techniques de biologie moléculaire qui permettent de préparer les séquences d'ADN qui seront introduites, on parle de construction génétique, et les techniques de transgénèse qui permettent de transférer le gène.

La transgénèse permet d'apporter des solutions à des problèmes très variés. Ils touchent aussi bien l'agronomie, l'amélioration des qualités alimentaires, la santé, l'industrie ou l'environnement. Ce chapitre montre la diversité des espèces concernées et donne un aperçu des améliorations possibles.

Les deux principales caractéristiques du génie génétique en comparaison de la sélection classique basée sur la reproduction sexuée sont :

- Une source de gènes étendue. On peut franchir la barrière des espèces, des genres et des règnes. Ainsi, il est possible d'introduire des caractères qu'il ne serait pas possible d'introduire par sélection classique.
- Le transfert d'un gène précis. Elle permet de transférer le seul gène désiré et non de transférer plusieurs gènes comme lors de la reproduction sexuée.



Figure 31- Les domaines d'application de la transgénèse

a- Définition :

La transgénèse consiste en l'introduction d'un gène étranger provenant d'une espèce donneuse dans le matériel génétique d'une autre espèce dite receveuse. L'organisme obtenu est un organisme transgénique. Le gène transféré est appelé transgène ou encore gène d'intérêt.

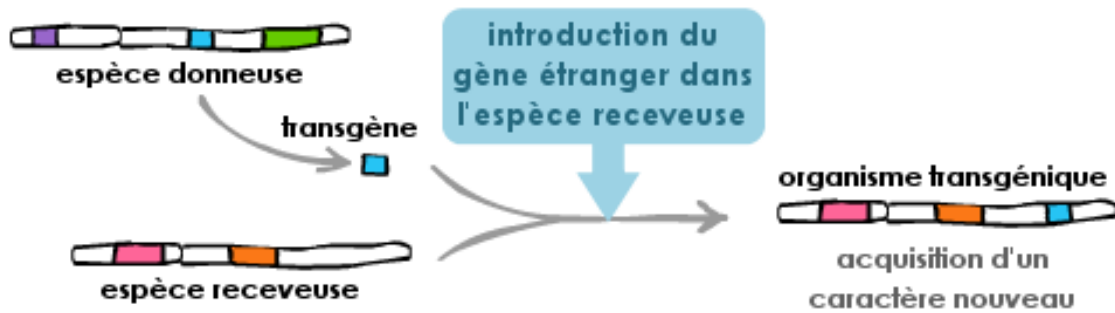


Figure 32- Principe de la transgénèse.

Une fois introduit dans le génome de l'espèce receveuse, le transgène s'exprime, ce qui conduit à la production d'une nouvelle protéine par l'organisme transgénique. Il permet l'acquisition par l'espèce receveuse d'un nouveau caractère.

b- Objectifs de la transgénèse:

- Introduire un nouveau caractère :

C'est un cas où le transfert de gènes s'accompagne d'un transfert de caractère. Une copie du gène d'intérêt est introduite dans la plante. Son expression, par l'intermédiaire d'un ARN messager, entraîne la production d'une protéine, responsable du nouveau caractère.

Les exemples dans ce domaine sont nombreux : introduction d'un gène de résistance à des insectes, à des pathogènes, à des herbicides, modification de la composition des graines, production de molécules d'intérêt industriel ou pharmaceutique.

- Inactiver un caractère :

Dans ce cas, il n'y a plus à proprement parler de transfert de gènes, on agit sur l'expression d'un gène déjà présent dans la plante. La stratégie antisens est la voie la plus couramment utilisée.

Elle consiste à bloquer l'expression d'un gène cible. Une copie « inversée » de ce gène est introduite, d'où le nom de la technique. Les ARN messagers (ARNm) produits par la copie originelle du gène et par celle introduite sont complémentaires. Ils s'hybrident donc et forment une molécule d'ARN double brin. Cette molécule aberrante est dégradée. Ainsi l'expression du gène est bloquée et le caractère ne s'exprime plus. Cette technique a permis d'obtenir des espèces végétales à teneur en lignine réduite, des tomates et des melons à maturation retardée, ou des pommes de terre contenant moins d'amidon.

c- Etapes de la transgénèse :

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

La première étape est l'identification d'un caractère que l'on veut introduire dans la plante, comme par exemple des caractères de qualité nutritionnelle, la résistance à certains insectes, à certaines maladies, à des herbicides, etc. Le gène d'intérêt peut provenir de tout organisme vivant, plante, animal ou bactérie puisque le code génétique est universel. Il doit ensuite être isolé de l'organisme donneur. Il est intégré dans une construction génétique associant souvent un gène marqueur. Ce gène marqueur permet de sélectionner les cellules qui ont intégré le gène d'intérêt. La construction est ensuite multipliée (clonée) afin de disposer d'une quantité suffisante d'ADN pour son introduction dans les cellules végétales que l'on veut transformer.

Il y a plusieurs méthodes pour introduire un gène dans une cellule :

- La transformation biologique :

Cette technique utilise une bactérie du sol, *Agrobacterium*, qui a la propriété de réaliser naturellement la transformation génétique d'une plante, afin de la parasiter. Ainsi, une construction génétique introduite dans la bactérie (rendue avirulente au préalable) sera transférée dans la plante et intégrée à son génome. C'est la technique la plus couramment utilisée.

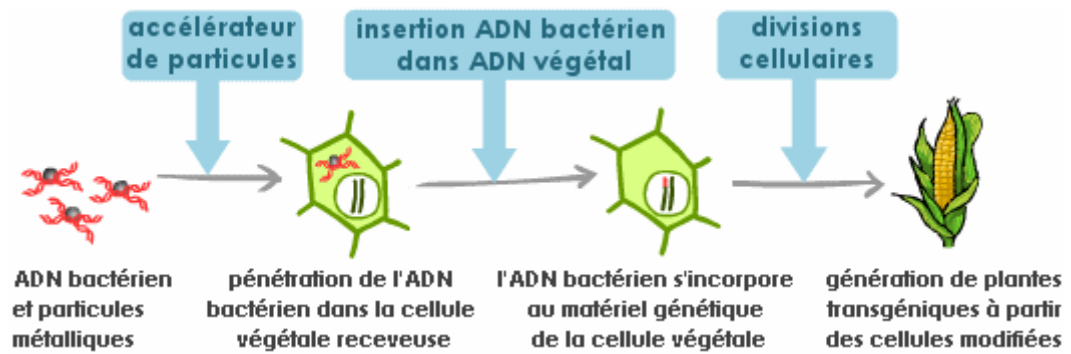


Figure 33- La transformation biologique.

- Le transfert direct :

Cette technique fait intervenir :

- soit une projection d'ADN dans les cellules de la plante par l'utilisation d'un canon à particules qui projette dans les cellules des microparticules enrobées d'ADN (biolistique),
- soit l'introduction d'ADN dans des protoplastes, par action d'un agent chimique ou d'un champ électrique (électroporation).

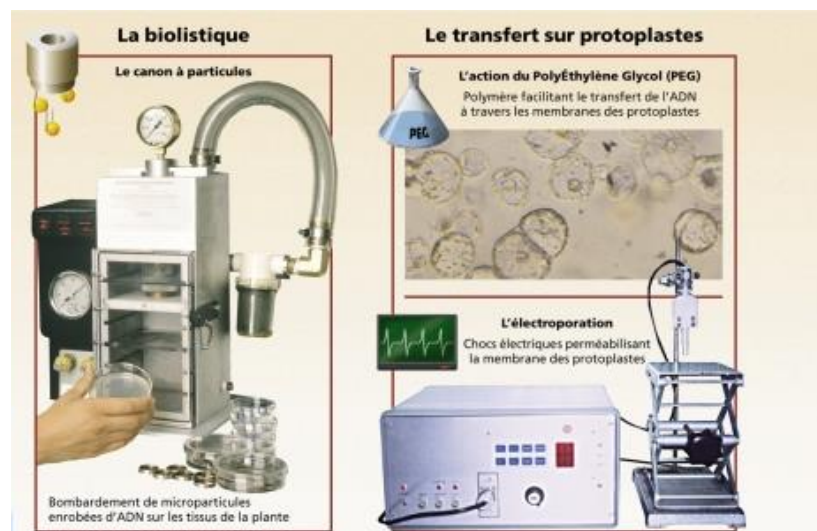


Figure 34- Le transfert direct

Etape 3 : Régénérer et évaluer les plantes transformées.

Après sélection des cellules transformées, il faut régénérer les nouvelles plantes transgéniques. Les cellules transformées se développent d'abord en cals, larges amas de cellules indifférenciées. Après quelques semaines, on observe le développement de pousses. Elles sont alors placées dans un nouveau milieu de culture permettant le développement des racines. Quand les racines sont suffisamment développées, les plantules sont repiquées en pot et acclimatées en serre.

La régénération in vitro des cellules transformées est une étape difficile à maîtriser. Aussi, le génotype, le type de tissus et les conditions de culture sont choisis en fonction de leur aptitude à la régénération.

Les plantes régénérées sont ensuite analysées pour confirmer l'insertion de la construction génétique dans leur génome.

Etape 4 : Incorporer dans une variété commerciale

Les plantes transformées obtenues sont soumises à des croisements contrôlés pour étudier les modalités de transmission du nouveau caractère à la descendance.

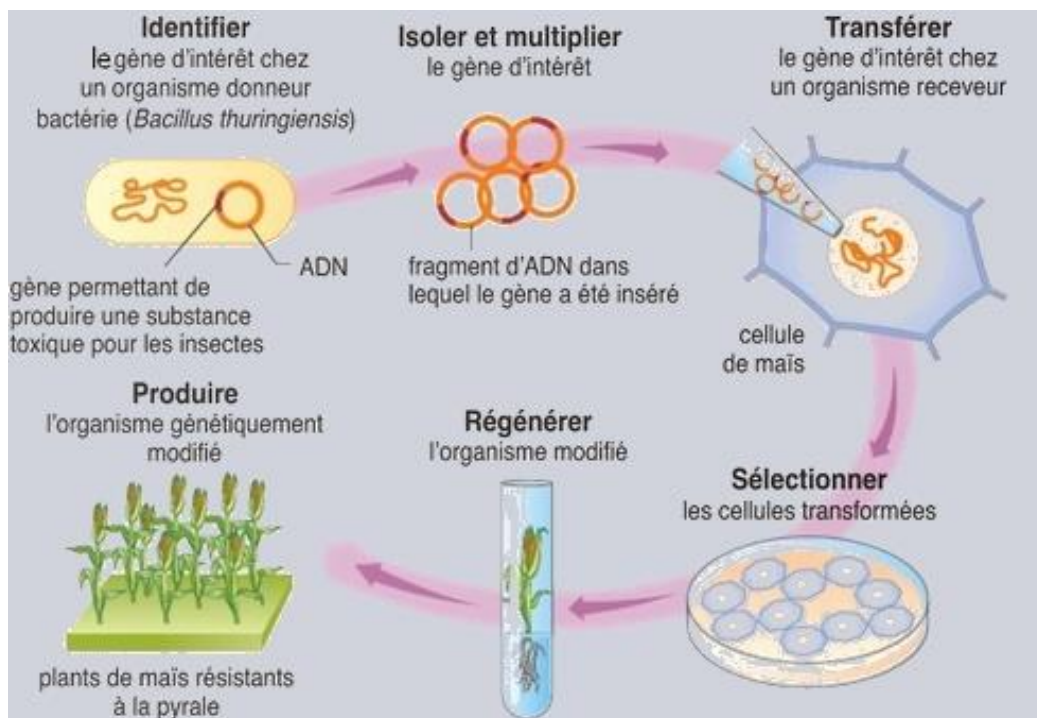
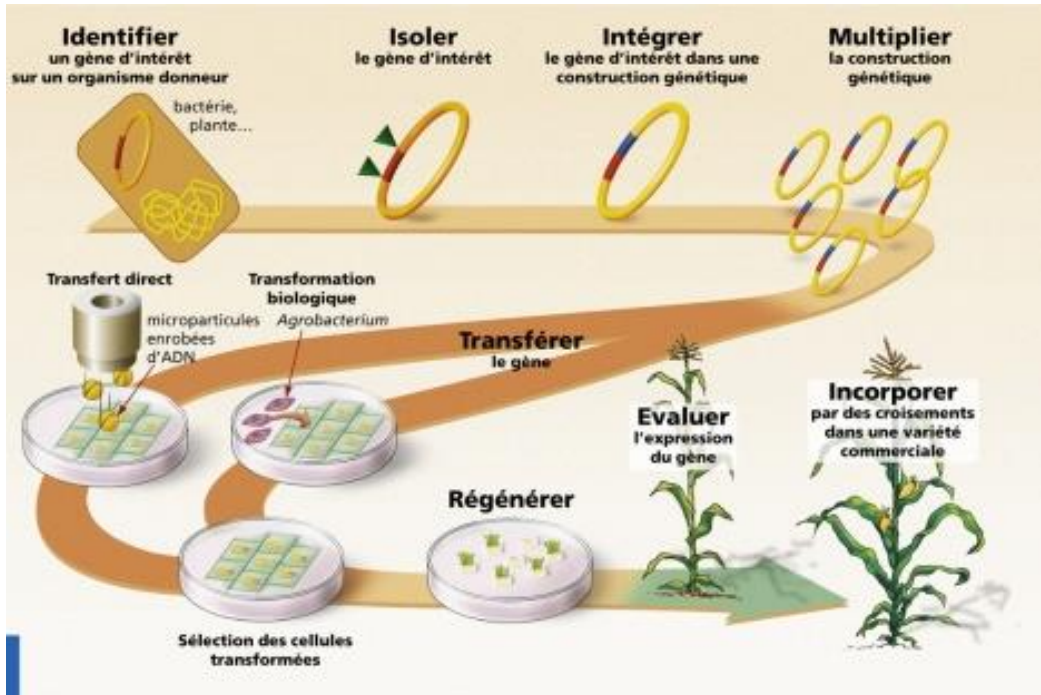


Figure 35- Les étapes de la transgénèse.

IV- La sélection végétale :

1- Principe :

L'homme commence à améliorer les plantes lorsqu'il se sédentarise, il y a 10 000 ans. C'est le début de l'agriculture : il cultive les plantes pour son alimentation et pratique alors une sélection en choisissant, de manière empirique, de ressemer les plus beaux grains des plantes les plus intéressantes.

A la fin du 19^e siècle, l'homme réalise les premiers croisements de parents choisis. L'avancée des connaissances et les progrès technologiques ont depuis permis l'évolution des techniques de sélection.

Ceci s'est traduit plus récemment par l'intégration des biotechnologies dans les programmes de sélection. C'est un outil supplémentaire à la disposition du sélectionneur pour repousser certaines limites rencontrées par les voies classiques de l'amélioration des plantes.

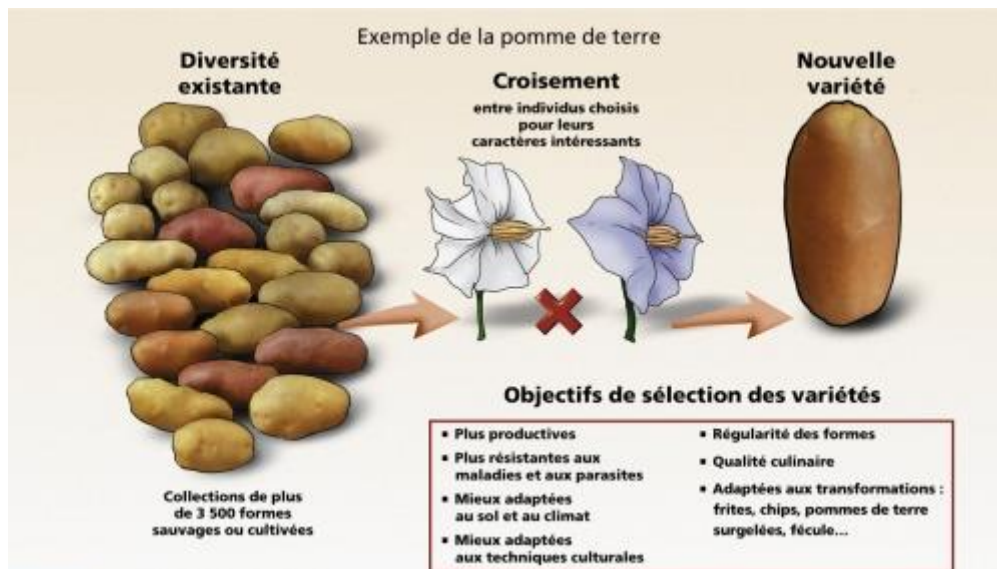


Figure36- Principe de la sélection.

L'amélioration des plantes a pour but de créer de nouvelles variétés à partir de la diversité existante. Elle consiste à croiser deux plantes choisies pour leurs caractères intéressants et complémentaires afin de les réunir dans une seule. Par le choix des meilleures plantes dans la descendance, les sélectionneurs aboutissent après un long travail d'épurations successives à la création d'une nouvelle variété.

2- Objectifs de la sélection :

Les objectifs de la sélection sont nombreux. Généralement, le premier critère évoqué est la **productivité**. La productivité dépend de nombreux facteurs. Elle peut être le résultat de la réduction des facteurs limitants du rendement, mais le potentiel de productivité peut également être accru par une amélioration de la physiologie des plantes : augmentation de l'activité photosynthétique, meilleure élaboration, migration et répartition des éléments constitutifs des réserves de la plante (grains, racines...).

Les espèces végétales sont également plus ou moins plastiques. Certaines plantes comme le blé nécessitent une adaptation variétale importante aux conditions du sol et du climat.

Pour les agriculteurs, l'un des facteurs les plus importants est la **résistance aux maladies** et aux parasites. Ceci joue non seulement sur le rendement, sur le revenu de l'agriculteur mais aussi sur l'environnement. En effet, il peut exister d'autres solutions comme l'utilisation de produits de traitement qui peuvent augmenter les charges opérationnelles sur la culture. La sélection prend depuis longtemps en compte le besoin qualitatif et les contraintes industrielles des transformateurs. **La qualité** intrinsèque de la récolte, son état sanitaire, l'homogénéité des lots, l'aptitude des lots à la conservation, les qualités technologiques pour la transformation et les utilisations (boulangerie,

biscuiterie, trituration...) sont des facteurs de sélection de plus en plus importants, diversifiés et codifiés dans des cahiers des charges.

D'autre part, on demande de plus en plus à l'agriculture de contribuer à des activités industrielles et de produire des molécules à usage **pharmaceutique**. La recherche prend déjà en compte ces nouveaux critères afin de permettre par exemple la production d'énergie, de substances transformées à usage non alimentaire, de vaccins ou de médicaments.

3- Types de variétés :

a- La variété lignée : Une lignée pure est un ensemble d'individus possédant tous un caractère commun fixé et pouvant le transmettre indéfiniment de génération en génération (ex : des individus d'une lignée pure de tomate à fruit rond donneront en se reproduisant entre eux une descendance à fruit rond).

Une lignée pure est la descendance d'un individu **homozygote** se reproduisant par **autogamie**. Cette descendance est constituée d'individus identiques entre eux à l'intérieur d'une génération (**homogénéité**) et identiques entre eux d'une génération à l'autre (**stabilité**). Le génotype est **fixé**.

Chez la variété lignée il n'y a pas d'hétérosis et la plante est autogame (ex : blé, orges, colza...)

b- La variété population :

Une variété population, ou variété de pays ou variété de ferme, est une variété cultivée traditionnelle, hétérogène, constitué d'un ensemble d'individus aux génotypes variés, mais répondant à des caractéristiques morphologiques communes (phénotype similaire) : allure de la plante, couleurs et forme des organes reproducteurs et des fruits, hauteur moyenne, précocité...

Ces variétés sont sélectionnées principalement par les agriculteurs eux-mêmes, dans leurs champs. Ces variétés sont multipliées en pollinisation libre et sélectionnées par sélection massale. Ce ne sont pas des variétés (cultivars) au sens juridique du terme car elles ne répondent pas aux critères DHS (distinction, homogénéité et stabilité) qu'il est nécessaire de respecter pour l'inscription d'une variété dans un catalogue officiel, mais la possibilité de les ressemer d'une année sur l'autre donne une grande autonomie aux agriculteurs. Leur variabilité génétique leur permet d'évoluer en fonction des variations de l'environnement. Les variétés populations existent depuis les débuts de l'agriculture. C'est ce type de variété qui caractérise le mieux les semences paysannes.

c- La variété hybride F1 :

Ce que l'on appelle « Hybride F1 » est le résultat de la fécondation de deux lignées pures. Comme le prédit la première loi de Mendel cet hybride F1 est homogène. Chaque plante est identique génétiquement quel que soit le nombre de descendants du croisement. « hybride F1 de lignées pures » est le terme exact.

Le concept de variété hybride F1 a été inventé par Shull en 1908. Il part du constat que les méthodes de création de variété lignées pures utilisées chez les céréales ne pouvaient pas être appliquées au maïs, du fait d'une trop forte dépression de consanguinité. Shull a alors l'idée de croiser entre elles des lignées pures pour reproduire à l'identique un génotype intéressant d'un point de vue agronomique. Pour les variétés hybrides F1, il y a hétérosis avec contrôle de l'hybridation à grande échelle (ex : maïs, betterave sucrière, etc.)

d- Variété synthétique :

Propre aux espèces allogames. C'est une population artificielle obtenue par multiplication en croisement d'un nombre limité de parents, sélectionnés sur leurs valeurs propres et leurs aptitudes à la combinaison. Il y a de l'hétérosis mais il n'y a pas de contrôle de l'hybridation à grande échelle (ex : ray grass, luzerne...)

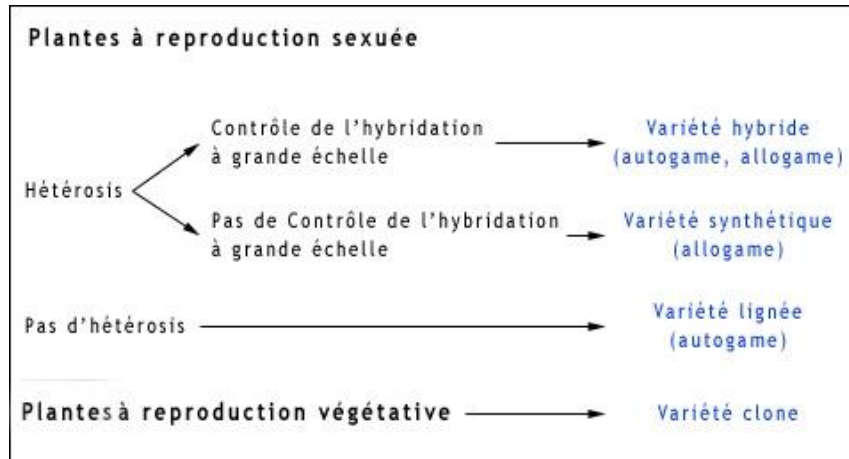
Les variétés synthétiques sont utilisées lorsque :

- Il est nécessaire d'avoir des semences avec un faible coût,
- Contrôle incomplet des systèmes d'hybridation,
- Difficultés d'obtention et de maintien de lignées pures.

e- Variété clone :

Lorsque la reproduction végétative est disponible et utilisable industriellement (cas de nombreux fruitiers : poires, pommes, abricots, amandes...), les variétés sont vendues sous forme de clones. Le greffage des arbres en arboriculture fruitière est une technique très ancienne. Les espèces de pommes de terre sont elles aussi mono-clones (un seul clone dans le champ de l'agriculteur). Beaucoup de florales (ex : le saint paulia) et le peuplier sont également cultivées sous forme de clones. La variété clone est très homogène, tous les individus appartenant à un même clone sont identiques.

La nature finale de la variété et son mode d'obtention sont profondément influencés d'une part par le système biologique de reproduction, naturel ou artificiel, et d'autre part, par l'existence d'hétérosis.



Type variétal Traditionnel	Régime de reproduction	Maîtrise des croisements à grande échelle	Type variétal moderne
Population : homozygotie élevée	Autogame	Non	Lignée pure
		Oui	Hybride F1
Population : hétérozygotie élevée	Allogame	Non	Population synthétique
		Oui	Hybride F1
Population de clones	Reproduction végétative		Clone

4- La sélection chez les plantes autogames :

La sélection de plantes autogames prend en considération le mode de reproduction marqué par l'autofécondation. Les structures variétales pour les espèces autogames couvrent les **lignées pures**, les **variétés hybrides F1** et les **variétés populations**.

Variétés des espèces autogames	Homogénéité	Homozygotie
Lignées pures	Oui	Oui
Variétés hybrides F1	Oui	Non
Variétés populations	Non	Oui/Non

a- Sélection massale :

C'est une sélection très ancienne et rarement utilisée actuellement. Les plantes sont choisies sur la base de leurs phénotypes supérieurs, les graines de ces plantes sélectionnées sont mélangées pour former la sélection massale. Cette dernière est semée pour reconduire à la génération suivante. C'est la plus ancienne méthode de sélection pratiquée par l'homme.

• **Caractéristiques :**

- La sélection est basée sur le phénotype.
- Les caractères à sélectionner doivent se prêter à l'identification visuelle.
- L'efficacité dépend de la capacité du phénotype à refléter le génotype.
- Elle est efficace pour les caractères à hérédabilité élevée.
- Elle est peu efficace pour les caractères très influencés par l'environnement.

• **Avantages :**

-Sécurité : la variation génétique à l'intérieur ou dans la sélection massale peut servir de tampon dans des conditions d'environnement changeant.

-Elle peut conduire à une inscription rapide de la variété. Elle ne nécessite pas de phase d'évaluation de la descendance.

-Simple, facile, rapide, non coûteuse

• **Inconvénients :**

-On ne connaît pas si les plantes sélectionnées sont homozygotes ou hétérozygotes (1-5% de pollinisation croisée naturelle) puisque les plantes hétérozygotes ségrégueront les générations suivantes, donc le sélectionneur a besoin de continuer la sélection.

- Interaction Génotype Environnement. L'environnement dans lequel la plante croit affecte son développement et son apparence. Avec la sélection massale, il n'est pas possible de connaître si le phénotype sélectionné qui est supérieur en apparence est dû au génotype ou à l'environnement. La sélection massale est confondue avec la sélection environnementale.

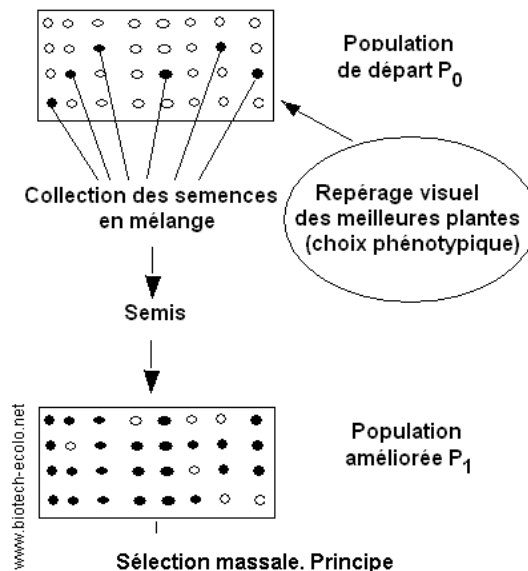


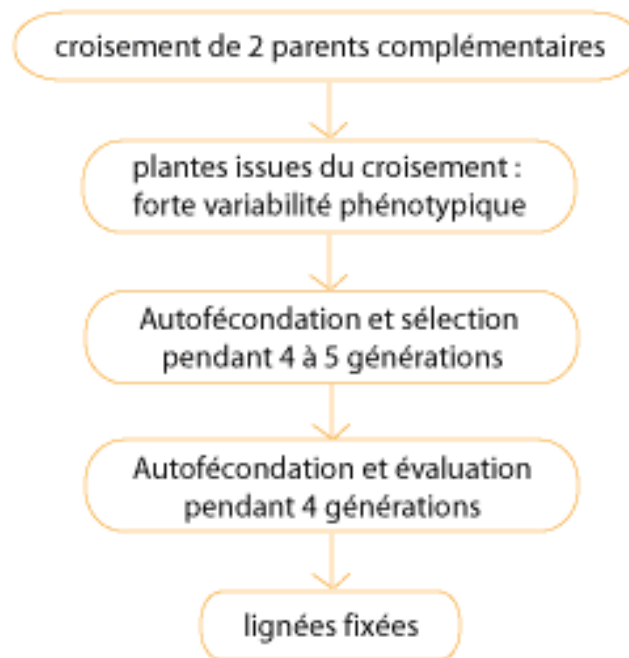
Figure37- La sélection massale.

Lors de la sélection massale, la population reste aussi hétérogène au cours des cycles de sélection, mais la fréquence du caractère recherché (donc sélectionné) croît dans la population (la moyenne de P₁ est supérieure à celle de P₀ pour le caractère voulu). La sélection massale est une méthode utilisée traditionnellement par les agriculteurs afin de conserver chaque année la semence nécessaire pour une prochaine culture, consiste à prélever les graines des meilleures plantes. Les plantes productrices de semence sont ainsi choisies sur leur apparence extérieure, c'est-à-dire leur phénotype, et ceci parmi toute une masse

d'individus présents dans le champ. C'est pourquoi cette méthode ancienne de sélection, porte le nom de sélection massale ou phénotypique. L'homme n'intervient pas dans la reproduction et, en particulier, il n'effectue pas de croisements.

b- La sélection généalogique après hybridation :

La sélection généalogique débute par le croisement de deux plantes (parents) dont les caractères sont jugés intéressants et complémentaires. Les plantes issues de ce croisement sont hétérozygotes pour un grand nombre de gènes et présentent une forte variabilité de phénotype. Elles sont autofécondées afin de produire des plantes dont le niveau d'hétérozygotie est moins grand, au sein desquelles le sélectionneur choisit les meilleurs individus. Le cycle autofécondation-sélection est répété pendant 4 à 5 générations. Les plantes issues de ce processus sont ensuite autofécondées et testées pendant 4 générations afin de produire des lignées fixées.

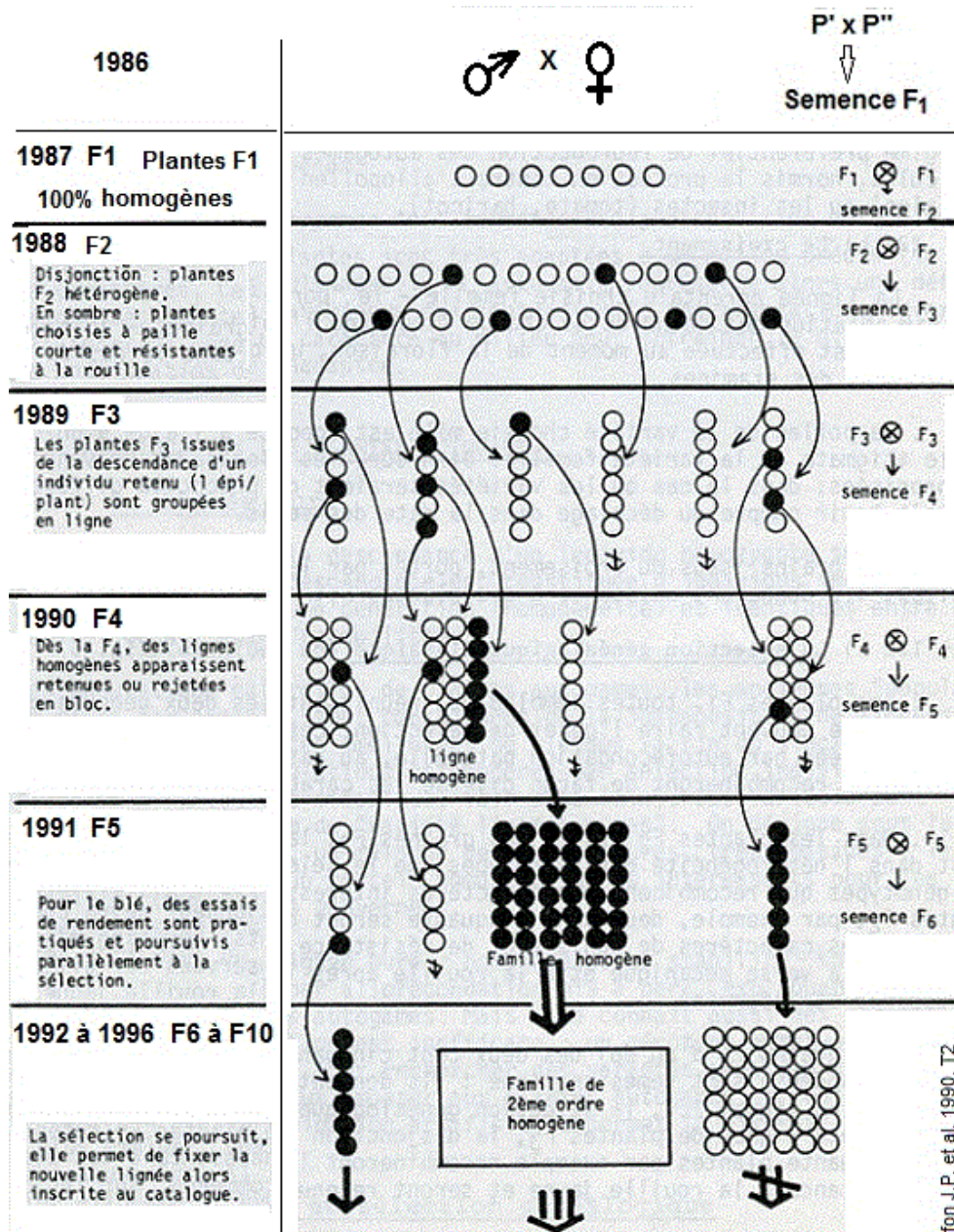


Pour réaliser une hybridation on passe par les étapes suivantes :

- choix des lignées parentales qui devront servir de parents mâles et femelles,
- castration de la lignée femelle : le blé possédant des fleurs bisexuées, il est nécessaire de détruire les organes mâles avant leur maturité afin d'empêcher toute autofécondation,
- collecte du pollen sur la lignée mâle,
- fécondation du parent femelle par le pollen mâle recueilli auparavant

Les croisements de parents lignées pures donne toujours des hybrides vrais ou F1 qui sont hétérozygotes à 100 %, tous semblables entre eux et, en principe, beaucoup plus vigoureux que leurs parents, tout en ayant conservé les principaux caractères de ceux-ci.

En favorisant les autofécondations, les hybrides vont donner des individus de plus en plus homozygotes ; les lignées pures pouvant être reconstituées en 6 à 8 générations.



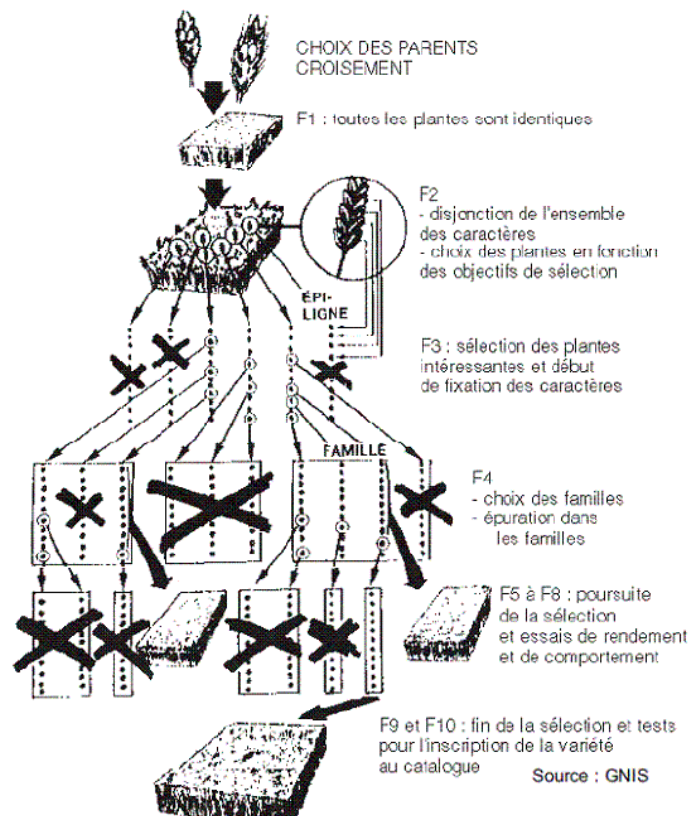


Figure 38- La sélection généalogique après hybridation du blé.

Après hybridation (exemple du blé) on a obtenu des hybrides F1 qui n'ont pas pu faire l'objet d'une sélection car ils sont tous semblables.

L'épi-ligne: c'est une ligne où sont semés les grains d'un même épi.

La famille de lignées: pour une année donnée, correspond à un ensemble de « lignes-épis » provenant de plants d'une même « ligne-épi » de l'année précédente.

Sur les F1 autofécondés, on a pu ensuite récolter des épis F2 ; les plantes F2 qui en sont issues, sont très hétérogènes (disjonction des allèles) et vont faire l'objet d'une sévère sélection. Chaque épi F2 est semé sur une ligne (**ligne-épi**) et on ne conserve que les semences (F3) des plantes possédant les caractères recherchés (250 plantes sur 5 000 soit = 5%) : de nombreuses lignées sont éliminées.

Les graines (F4) récoltées sur les plantes F3 vont être placées en familles de lignées dont les grains seront récoltés en mélange (il convient donc de conserver ou bien d'éliminer toute une famille). A partir de la génération F5, les lignées sont plus homogènes et les essais prennent en compte des résultats quantitatifs (rendements) obtenus sur des microparcelles.

En F3, on élimine les « lignes-épis » qui apparaissent hétérogènes. De la même façon, en F4 et après, on élimine les lignes-épis, voir les familles entières, si elles se montrent hétérogènes. La raison est qu'on recherche de l'homogénéité, ce qui est le signe de l'homozygotie des caractères.

Les années suivantes (F6 à F8), la sélection va se poursuivre dans des milieux très divers (sols et climats variés) afin d'étudier davantage de caractères (comparaison par rapport à des témoins, contamination par des maladies, résistance aux facteurs climatiques, etc).

Enfin les générations F9 et F10 subiront les tests nécessaires à l'inscription des nouvelles variétés ce qui montre qu'il faut au moins une dizaine d'années pour mettre au point une variété.

c- Sélection SSD (single-seed-descent):

Dans la procédure décrite ici, chaque plante F2 contribue par une seule graine à la génération F3, chaque plante F3 contribue par une seule graine à la génération F4 et ainsi de suite. Le but est d'obtenir des lignées à partir d'un maximum de plantes F2. Ceci permet de réduire les risques de pertes de génotypes supérieurs par sélection (artificielle ou naturelle) surtout pour les caractères à faible héritabilité tel que le rendement. Cependant, cette procédure oblige à conserver une grande proportion de génotypes non désirables et ne permet pas la sélection des meilleurs génotypes parmi les familles issues des F2 et des générations suivantes. La méthode est simple et peu coûteuse. Il suffit seulement de récolter une graine par plante et de semer l'ensemble à la génération suivante.

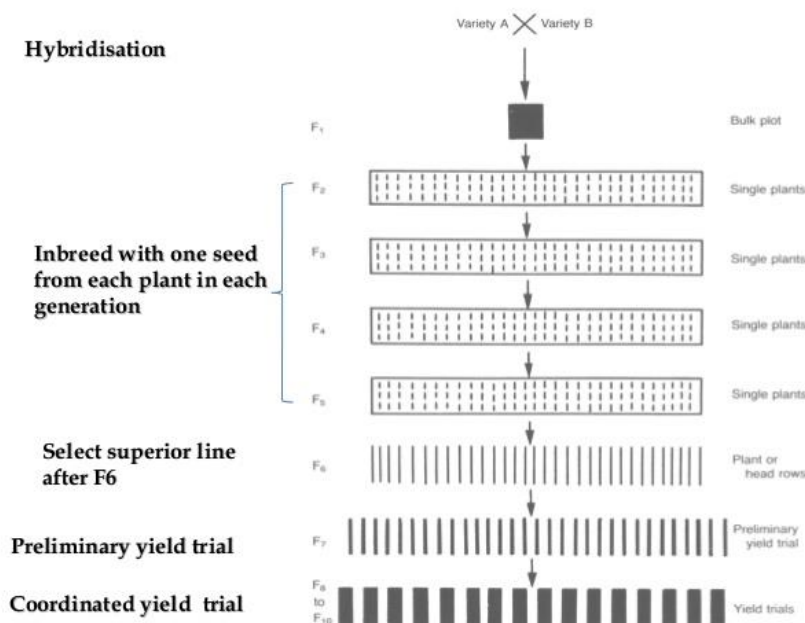
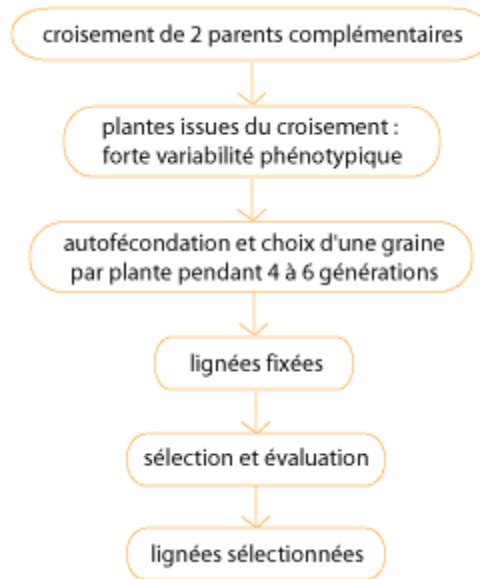


Figure 39- Sélection SSD

d- Sélection Bulk :

Appelé également « sélection généalogique différée ». De même que pour la sélection généalogique, deux parents complémentaires sont croisés afin d'obtenir des plantes qui présentent une large gamme de variabilité sur les caractères qui intéressent le sélectionneur. Ces plantes sont ensuite autofécondées. Le nombre de graines retenues pour l'étape suivante d'autofécondation est limité pour des raisons pratiques, mais aucune sélection n'est effectuée à ce niveau. Les autofécondations sans sélection sont répétées sur 4 à 5 générations au total, ce qui permet d'obtenir des lignées fixées. La sélection n'intervient qu'ensuite, selon un processus analogue à celui utilisé en sélection généalogique si ce n'est qu'il est appliqué à des lignées fixées.

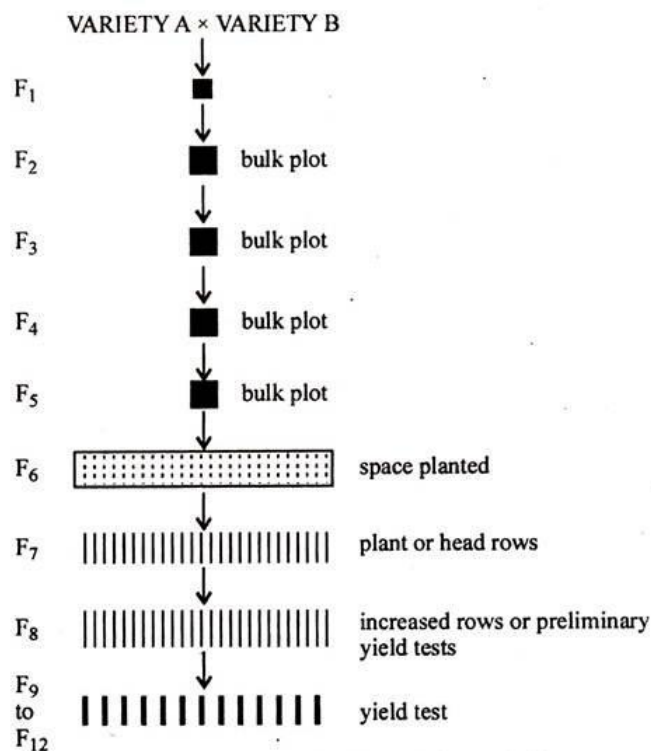
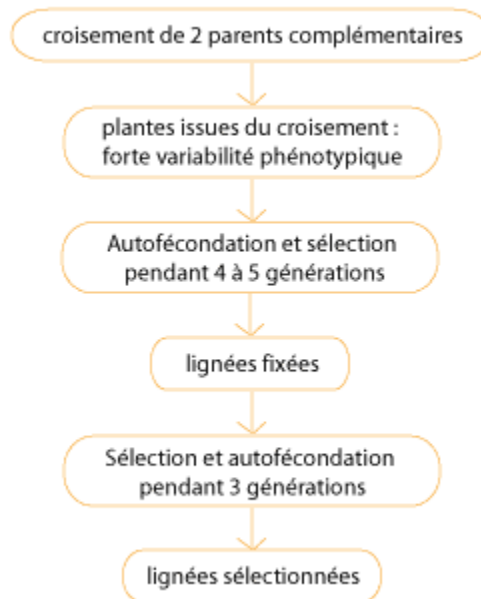


Figure40- Sélection Bulk

Plantes autogames. Schémas d'amélioration génétique (Grignac et al., 1978)

Pedigree Sélection généalogique	SSD Sélection 'Single Seed Descent'	Bulk Sélection généalogique différée
<ol style="list-style-type: none"> 1. Choix de 300 à 500 Épis dans F2 2. Famille F3 (300 à 500) Choix sur résistance aux maladies et teneur en protéine des grains 3. Famille F4 (20 à 50) choix sur résistance, rendement teneur en protéine 4. Famille F5 (10 à 30) choix comme F4 5. Famille F6 (6 à 15) choix comme F4 6. Familles F7 (5 à 12) choix comme F4 7. Famille F8 (4 à 8) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prélèvement de 1 à 2 grains sur chaque plante F2 2. Population F3 Prélèvement de 1 à 2 grains sur chaque plante 3. Population F4 Prélèvement de 1 à 2 grains sur chaque plante 4. Population F5 choix de 500 à 900 épis 5. Famille F6 (500 à 900) choix résistance maladie, teneur en protéine 6. Familles F7 (20 à 40) choix résistance maladie, teneur protéine, rendement 7. Famille F8 (10 à 20) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Récolte de la totalité des grains. Sélection des 2000 plus gros 2. Population F3 Récolte de la totalité des grains. Sélection des 2000 plus gros 3. Population F4 Récolte de la totalité des grains. Sélection des 2000 plus gros 4. Population F5 choix de 500 à 900 épis 5. Famille F6 (500 à 900) choix comme SSD 6. Familles F7 (20 à 30) idem F6 7. Famille F8 (10 à 20)

Comparaison des trois méthodes de sélection :

- Pour la méthode Pedigree (généalogique), la sélection commence en F2. La première sélection est faite parmi les plantes hétérozygotes.

- Pour la méthode Bulk (généalogique différée), la première sélection est faite plus tard sur la base de plantes homozygotes.

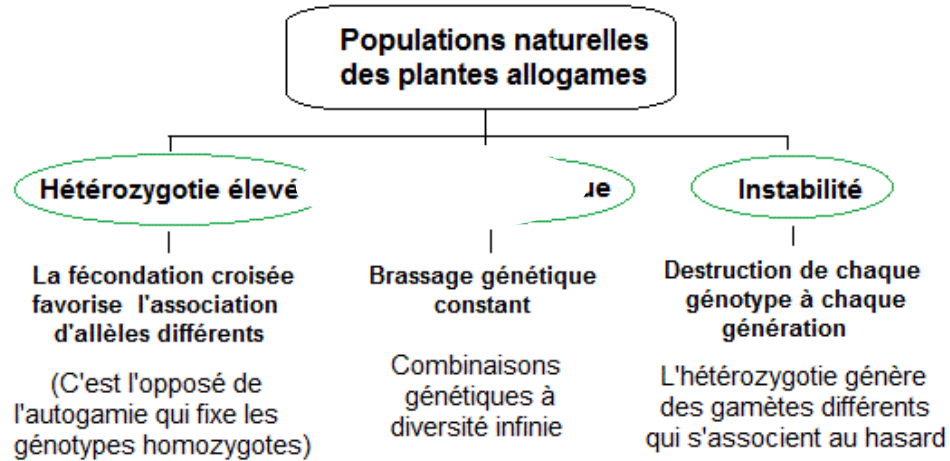
- Pour la méthode SSD, la sélection est faite sur la base de lignées homozygotes (descendance de plantes homozygotes par autofécondation). La sélection par la méthode SSD permet de garder la descendance d'un nombre maximum de plantes F2. Le goulot d'étranglement pour la méthode SSD est, cependant, le nombre élevé de lignées à tester pour le rendement.

-La méthode Pedigree est plus coûteuse et plus laborieuse que les deux autres méthodes mais elle permet l'élimination rapide des génotypes inférieurs (certains génotypes supérieurs peuvent être accidentellement éliminés aussi) par la sélection durant les premières générations. La sélection naturelle est plus active dans le cas de la sélection par la méthode Bulk et peut aider le sélectionneur comme elle peut lui poser des problèmes.

-Le choix de la méthode de sélection dépend de la plante en question, de la philosophie du sélectionneur, des objectifs du programme de sélection et des moyens disponibles (terrain, équipements, personnel, etc.).

5- La sélection chez les plantes allogames :

a- Nature des populations chez les plantes allogames



-Chez les plantes allogames, il y a échec de la sélection massale pour l'amélioration des populations

-Les variétés sont très hétérogènes (donc problème de stabilité et de distinction)

-Les variétés sont composées d'un mélange d'individu de valeurs agronomiques différentes : pas intéressant dans un champ où les conditions de culture sont fixées.

-Les variétés modernes de plantes allogames sont très rarement des populations. Elles sont des variétés hybrides et variétés synthétiques.

	Homogénéité	Homozygotie
Variétés hybrides F1	Oui	Non
Variétés populations	Non	Non
Variétés synthétiques	Oui/Non	Non

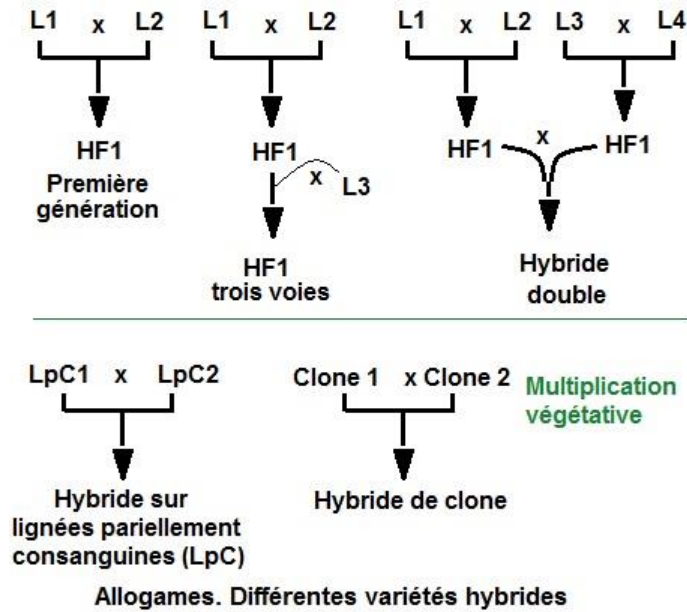
La sélection classique des plantes allogames rencontrent quelques difficultés liées au mode de reproduction.

b- L'effet inbreeding :

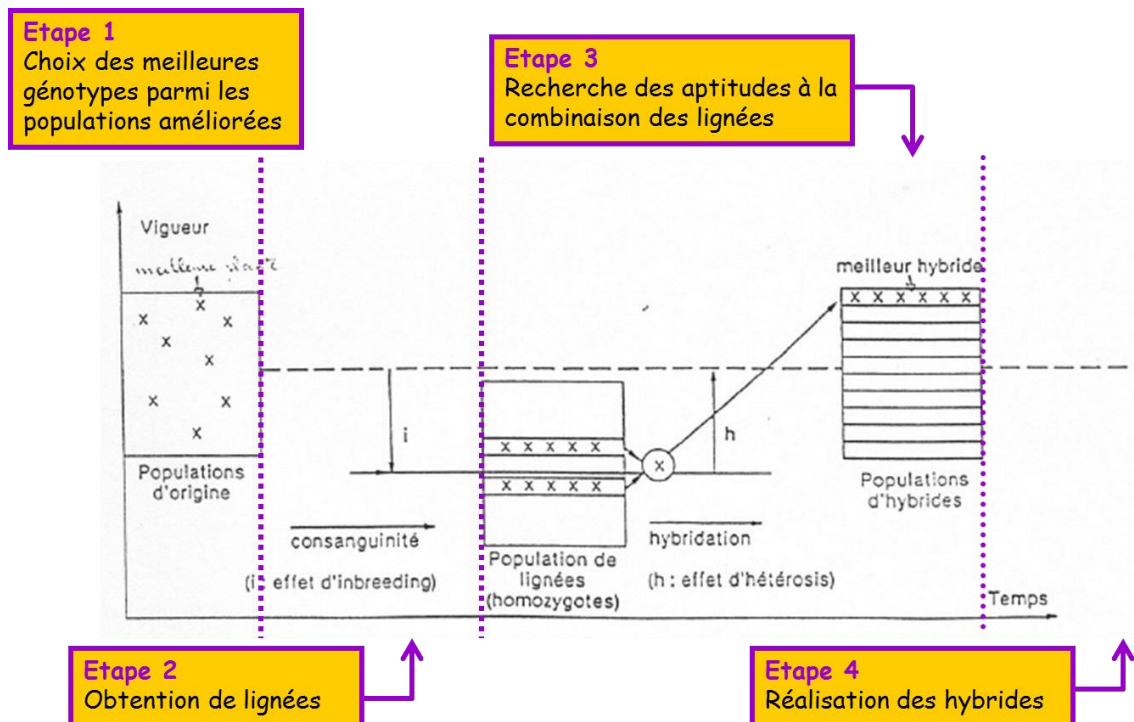
Lorsque les allogames subissant des autofécondations répétées, les lignées pures obtenues présentent souvent une baisse de vigueur (taille réduite, moindre résistance aux maladies ou aux stress, baisse significative du rendement) ; parfois ces déficiences sont telles que les lignées disparaissent totalement.

La réduction de la vigueur est liée à l'homozygotie : des allèles récessifs qui étaient masqués par des dominants chez l'hybride (hétérozygote), vont pouvoir s'exprimer. Leurs effets peuvent être négatifs, ce qui entraîne une moins bonne croissance : la plante est plus chétive et moins résistante aux facteurs du milieu. Ce phénomène est connu sous le nom de « inbreeding »

c- Différentes variétés hybrides des allogames :



d- Création de variété hybride F1 chez les plantes allogames :



Etape 1 : choix des plantes de départs

- Sélection d'individus de départ qui vont former les têtes de familles.
- En général, consanguinisation de nombreux individus.
- Observation de la descendance et sélection des meilleures familles.

Etape 2 : fixation des lignées

- Formation des lignées comme dans le cas des plantes autogames et possibilité de faire une sélection généalogique.

- On peut rencontrer quelques problèmes :

- Problème du mode de reproduction (prélèvement de pollen – pollinisation manuel – ensachage des fleurs femelles pour éviter les fécondations croisées)

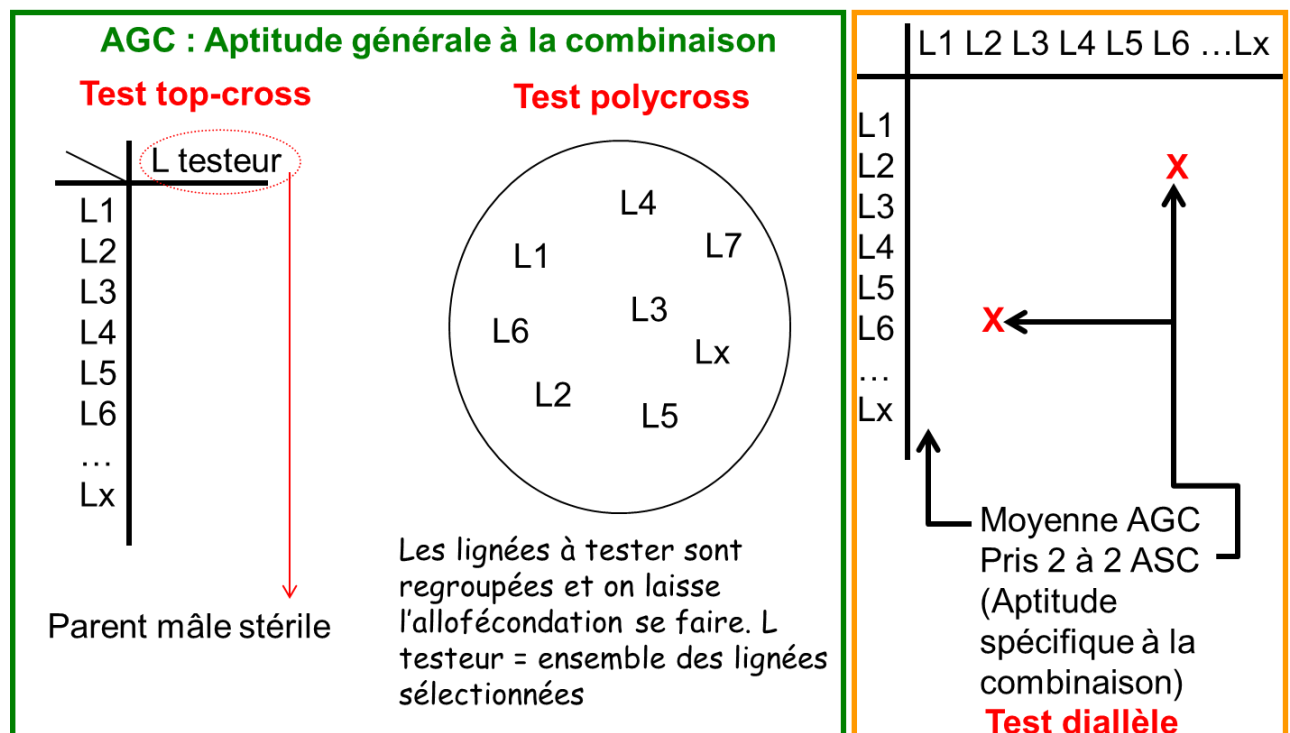
- Problème de la consanguinité :

Quelquefois impossibilité de faire de l'autofécondation croisement frère X sœur (fixation bien plus lente)

Impossibilité de faire 8 générations d'autofécondation.

La consanguinité peut masquer l'expression de nombreux caractères.

Etape 3 : sélection des lignées sur leur valeur hybride



Etape4 : Réalisation des hybrides

Quelquefois les lignées plus ou moins fixées ont un gros problème de fertilité et il est impossible de faire des hybrides simples : création d'hybride 3 voies ou double.

e- Avantages de l'amélioration des plantes allogames :

- Possibilité d'association dans l'hybride de caractères provenant de parents distincts.
- Protection de la variété et obligation pour l'agriculteur de constamment se réapprovisionner en semences (rentabilisation de la recherche)
- Le sélectionneur possédant les lignées parentales contrôle la multiplication de la variété.
- Variété bénéficiant d'excellentes valeurs agronomiques (vigueur, adaptation, résistances).
- Homogénéité variétale facilitant toutes les opérations culturales.
- Stabilité dans le temps.

f- Inconvénients de l'amélioration des plantes allogames :

- Complexité et longueur du cycle de création des lignées parentales et des hybrides.
- Introduction chez l'un des parents d'un système rigoureux de contrôle de l'hybridation.
- Contraintes et coût de la production de semences.
- Coût élevé des semences
- Obligation de rachat des semences chaque année.