

Amélioration génétique des Plantes

Chapitre IV

Sélection pour la Stabilité, la qualité et les caractères physiologiques

Principe de création variétale

Dans la nature, l'évolution résulte de pressions de sélection qui s'exercent sur des populations polymorphes. De même, la création variétale suppose l'existence d'une diversité parmi les plantes cultivées et l'application de pressions sélectives par l'homme.

1- Evolution de la diversité

La diversité génétique des espèces végétales cultivées peut être vue à trois niveaux:

- dans le champ de l'agriculteur.
- au niveau des listes de variétés proposées aux agriculteurs.
- au niveau des ressources génétiques à la disposition du sélectionneur.

L'histoire de la sélection, chez la plupart des espèces végétales améliorées à reproduction sexuée, a conduit à une perte de diversité du peuplement végétal dans le champ de l'agriculteur en passant des variétés populations hétérogènes génétiquement aux variétés modernes souvent réduites à un génotype, lignées ou hybrides simples.

Cependant, cette évolution peut être compensée par une diversité des variétés entre champs et une diversité des variétés dans le temps, voire par la culture d'associations de variétés. Il faut donc avoir une vision spatio-temporelle de la diversité génétique.

2- Conservation de la diversité

La conservation de ces génotypes sur place, dans des réserves naturelles, est pratiquement exclue, mais de nombreux organismes internationaux, nationaux et privés, ont créé des banques de gènes qui peuvent compter plusieurs dizaines de milliers d'accessions d'une même espèce : on y trouve le plus grand nombre possible de variétés améliorées, des mutants, les races anciennes et des formes spontanées. Beaucoup d'espèces pérennes sont maintenues en culture (arbres et arbustes).

Les annuelles autogames (céréales, légumineuses) sont semées périodiquement en petites parcelles et les allogames (maïs) en parcelles isolées plus vastes. Pour d'autres plantes (pomme de terre), on expérimente la conservation prolongée de méristèmes ou de tissus dans l'azote liquide (-196 °C).

3- Sélection et hybridation

Lorsqu'un caractère est très héritable, la sélection est généralement facile. Pour les autres caractères, l'observation d'un individu ne suffit pas, il faut contrôler sa valeur génotypique après multiplication clonale ou semis de sa descendance. Les populations allogames sont suffisamment hétérogènes pour que la sélection y soit efficace.

Chez les autogames, les variétés anciennes sont également polymorphes, mais les modernes sont très uniformes, dans ce cas, la recherche de nouvelles combinaisons de gènes est précédée de croisements entre plusieurs génotypes.

Une population issue de croisements successifs entre un plus grand nombre de génotypes représente une source potentielle de combinaisons génétiques exceptionnelles.

4- Les modes de reproduction

L'application des principes d'amélioration dépend beaucoup du mode de reproduction de l'espèce. La propagation végétative et la sélection clonale sont les seules voies possibles pour les espèces stériles comme les bananiers.

Les clones représentent un moyen rapide d'amélioration chez des plantes pérennes récemment domestiquées comme le caféier robusta, l'hévéa, le cacaoyer, mais les populations synthétiques et les variétés hybrides sont parfois plus intéressantes.

A l'inverse, les progrès de la micro propagation permettent la création de clones chez des espèces habituellement reproduites par graines comme le palmier à huile.

I- La sélection clonale

Un clone : Groupe de plantes génétiquement identiques provenant toutes d'une propagation végétative d'un seul individu sélectionné.

1-Origine des clones

La multiplication végétative est le seul mode de propagation possible pour des plantes stériles, qui sont souvent des hybrides interspécifiques ou des polyploïdes apparus spontanément ou obtenus artificiellement (bananiers triploïdes, canne à sucre, plantes vertes et bulbeuses).

C'est aussi le mode de propagation le plus utilisé chez beaucoup d'arbres fruitiers et de plantes ornementales qui possèdent cependant une reproduction sexuée.

Ces espèces sont allogames, fortement hétérozygotes, elles combinent parfois des caractères de plusieurs espèces spontanées. Descendance très hétérogène. La propagation végétative conserve les qualités commerciales de l'individu choisi. La propagation végétative conserve les qualités commerciales de l'individu choisi.

Lorsqu'un clone est cultivé pendant de nombreuses années sur de grandes surfaces, des mutations apparaissent spontanément.

Chez les arbres fruitiers (citrus, pêchers, pommiers), beaucoup de nouvelles variétés sont des mutants trouvés dans les vergers.

La mutagenèse induite, surtout par irradiation, est souvent appliquée pour accélérer l'apparition de nouveaux caractères : elle est à l'origine, chez les plantes ornementales, de nombreuses nouveautés caractérisées par des formes ou des pigmentations différentes.

Les mutations induites par la culture des cellules (variation somaclonale), éventuellement complétées par une sélection appliquée aux cellules elles mêmes.

3-La sélection

A-choix basé sur l'aspect des plantes, et donc surtout sur des caractères qualitatifs.

B- les individus retenus sont multipliés végétativement (greffe, bouture) et cultivés en petites parcelles, dans un environnement uniforme. Sur base de la croissance, du comportement et du rendement, quelques clones seront conservés pour une seconde étape.

C- les génotypes sélectionnés sont comparés sur des parcelles plus grandes, avec plusieurs répétitions et généralement des essais multi locaux destinés à estimer leur adaptabilité.

4-Synthèse de clones hybride

Lorsqu' une plante cultivée est stérile, la sélection clonale classique repose uniquement sur les mutations.

Lorsque les espèces parentales fertiles sont identifiées et existent encore, elles peuvent servir à la synthèse de nouveaux hybrides, parmi lesquels des clones seront sélectionnés.

5-Les chimères

Une mutation survenant dans une cellule méristématique ne se transmet pas à l'ensemble de la tige, mais reste limitée aux tissus qui dérivent de la cellule mutée. La plante devient donc hétérogène : c'est une chimère.

Beaucoup d'espèces ornementales, d'arbres fruitiers et de plantes à tubercules sont des chimères. Des clones diffèrent uniquement par la coloration de l'épiderme et sont recherchés pour leur esthétique. La résistance de l'épiderme des feuilles ou des fruits aux prédateurs et aux blessures représente aussi un avantage. La grande majorité des chimères sont dues à des mutations spontanées et sont donc aléatoires. On en obtient parfois à la suite de greffes entre espèces ou génotypes différents, par sélection de tiges développées au niveau de la cicatrice.

II- La sélection lignée

a-Principe : Les variétés anciennes de céréales étaient hétérogènes, à la suite de fréquents mélanges de semences, de mutations, de recombinaisons après croisements spontanés.

L'agriculture moderne a conduit à l'uniformisation et à la stabilité des variétés. En théorie, une variété moderne est une lignée pure, produit de la multiplication de plantes homozygotes identiques entre elles.

b-sélection de lignée

Une simple sélection massale a permis aux agriculteurs eux-mêmes de transformer peu à peu des plantes spontanées en variétés cultivées, puis d'obtenir des lignées homogènes à partir de populations disparates.

Si les caractères sélectionnés sont très héréditaires et facilement identifiables (couleur des fleurs, forme du fruit), la sélection massale est efficace, aboutissant, dès la première étape, à une lignée stable.

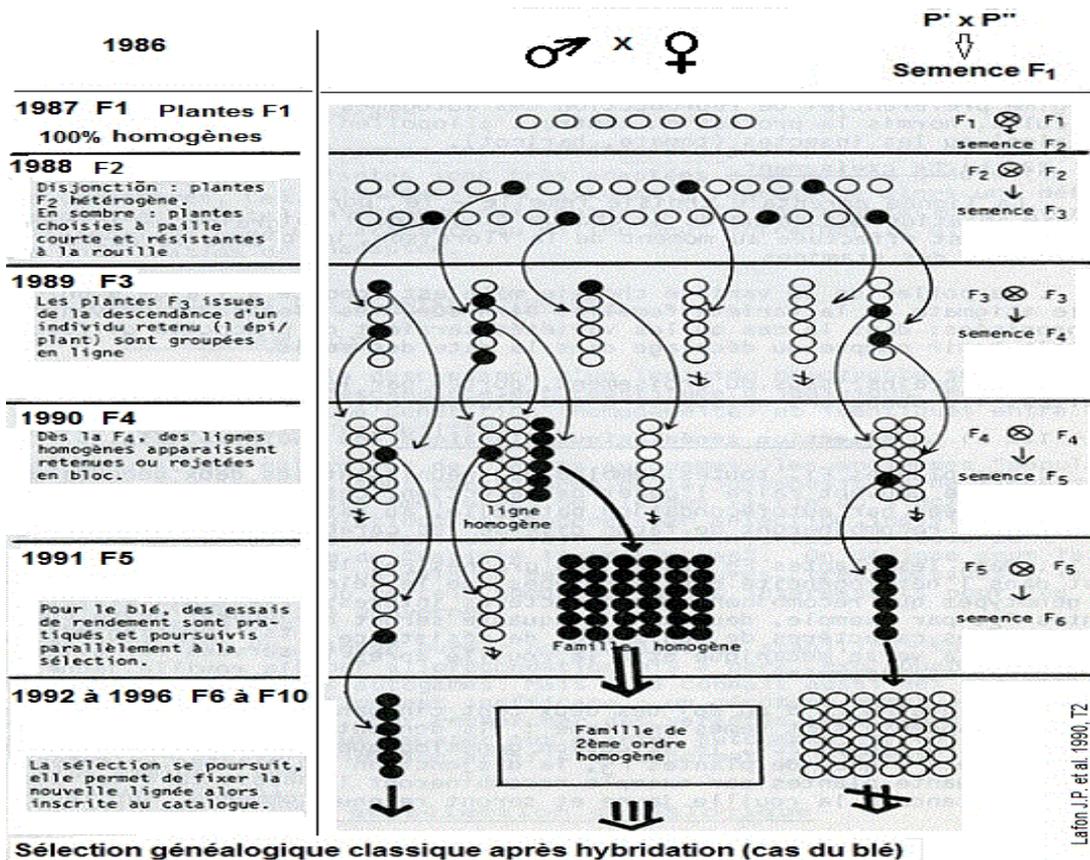
Pour d'autres caractères fortement influencés par l'environnement, comme le rendement, elle est par contre peu efficace. La sélection de lignées est comparable à la sélection clonale.

c-Création variétale

Les méthodes traditionnelles d'amélioration ont deux objectifs : d'une part, sélectionner de nouvelles combinaisons de gènes dans une population dérivée d'un croisement et, d'autre part, rétablir l'homozygotie, au moins pour les caractères agronomiques visibles.

c-1- Sélection généalogique (pedigree) : Exemple: blé

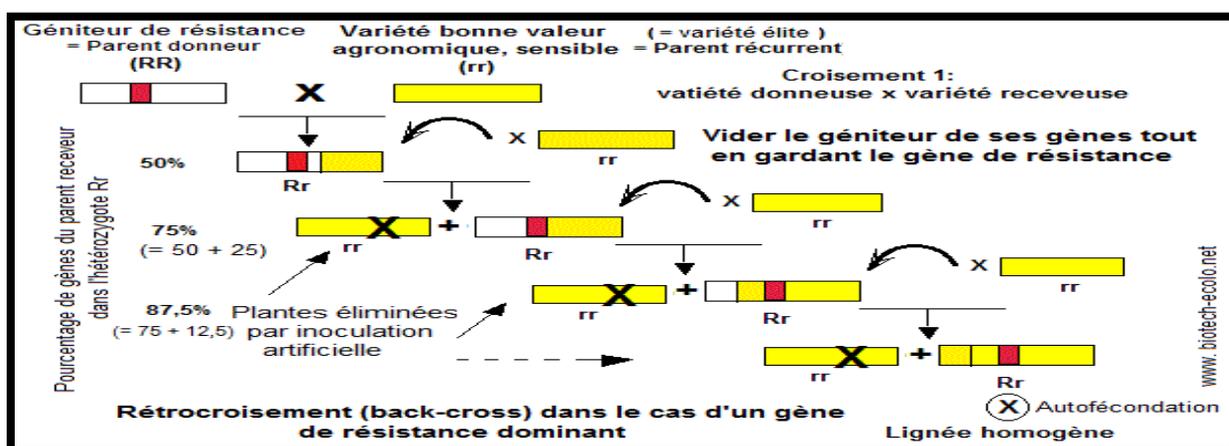
La diversité éclatera dans les plantes F₂ issues de graines F₂. Le sélectionneur devra choisir les plantes qui recombinent les traits intéressants. La variété lignée pure peut être obtenue au bout de 10 ans.



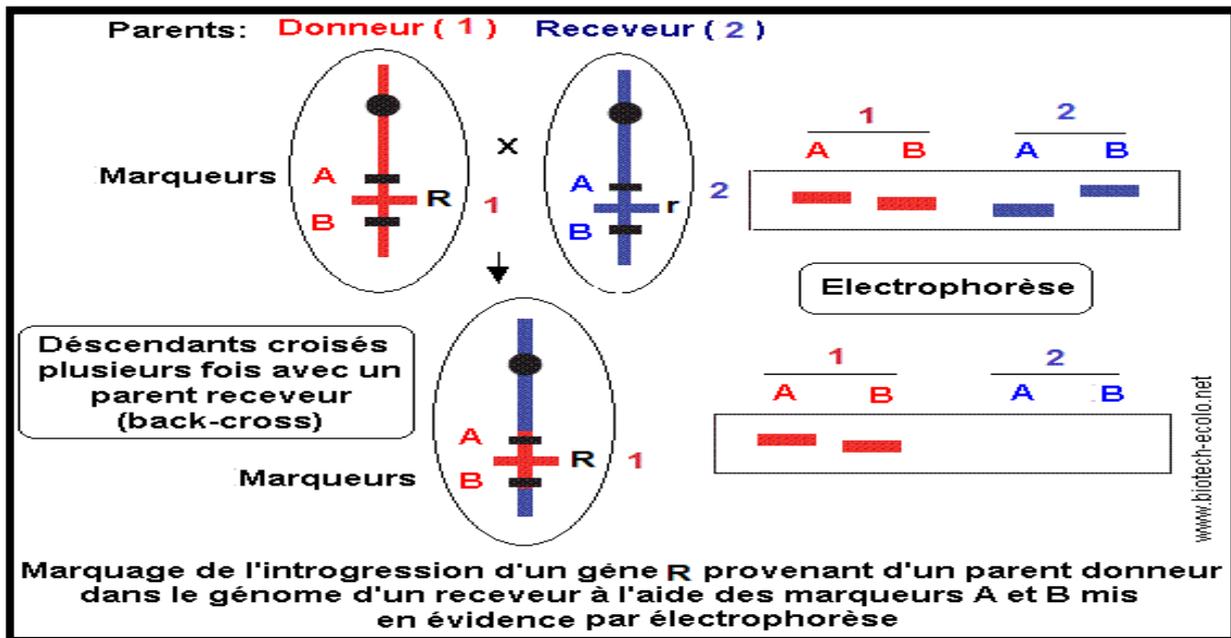
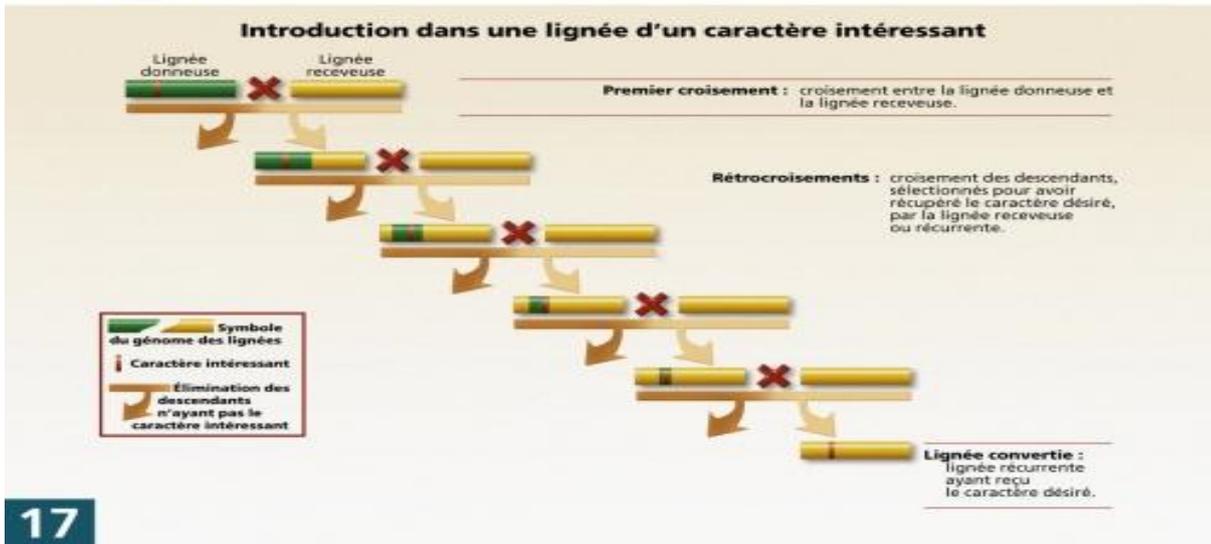
c-2- Amélioration génétique par rétrocroisement (back-cross)

Le rétrocroisement (back-cross) est une méthode d'amélioration pratiquée par les sélectionneurs. Son principe est d'éliminer (vider) progressivement tous les gènes d'un géniteur donné comme un **géniteur de résistance (parent donneur)**, sauf celui qui confère la résistance à une maladie déterminée. Ceci est réalisé par des recroisements successifs de celui ci avec une **variété de bonne valeur agronomique (= parent récurrent = parent receveur)**.

Au cours des recroisements, les gènes du parent récurrent 'remplissent' le géniteur où leur proportion augmente de 50% (première hybridation) à 75% (= 50 + 50/2) (premier recroisement), 87,5% (= 50 + 75/2) (deuxième), 93,75% (troisième), 96,875% (quatrième recroisement).



Le rétrocroisement



La contribution génétique du parent donneur (généiteur) est ainsi réduite de moitié à chaque génération. Il en résulte un individu d'une constitution génétique identique à celle du parent récurrent à l'exception du segment chromosomique portant le gène d'intérêt. Cette méthode permet de cumuler successivement dans une bonne variété commerciale plusieurs gènes de résistance monogéniques. Par exemple, dans la tomate Roma, les gènes VFN de résistance à la verticilliose, à la fusariose et aux nématodes à galle.

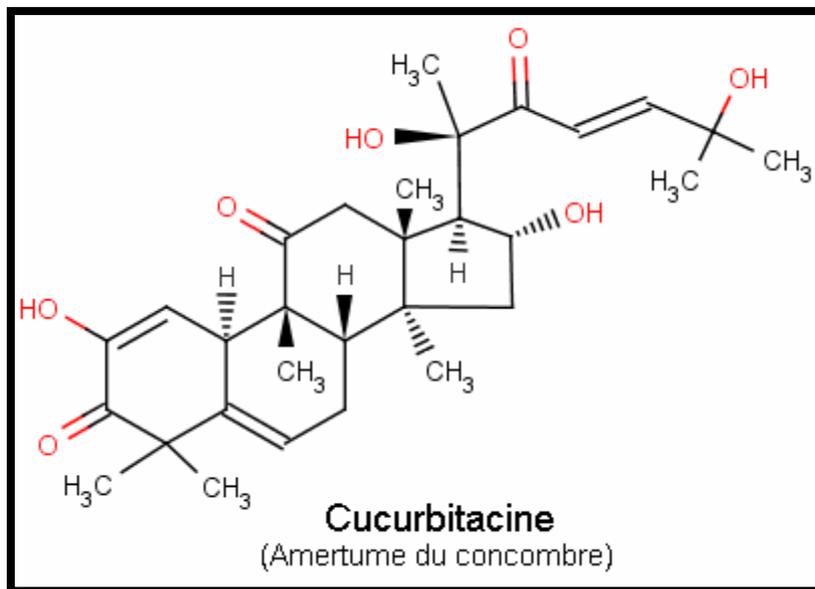
L'objectif du backcross est de restituer au parent récurrent tous ses gènes, sauf le ou les gènes qui contrôlent le caractère à transférer. Le Backcross est plus facile si le caractère à transférer est :

- dominant
- hautement héritable
- facilement reconnaissable dans la descendance hybride.

Il est plus difficile si le gène en question est fortement lié à d'autres gènes non désirables et si le caractère à transférer est contrôlé par plusieurs gènes. Il n'est pas nécessaire de tester la variété développée par la méthode du Backcross pour le rendement. En principe, la performance des variétés développées par cette méthode est au moins égale à celle de la variété utilisée comme parent récurrent. Si le caractère est récessif, il faut alterner rétrocroisement et autofécondation.

Exemple : Amertume du concombre

Cucurbitacines = Triterpènes tétracycliques responsables de l'amertume



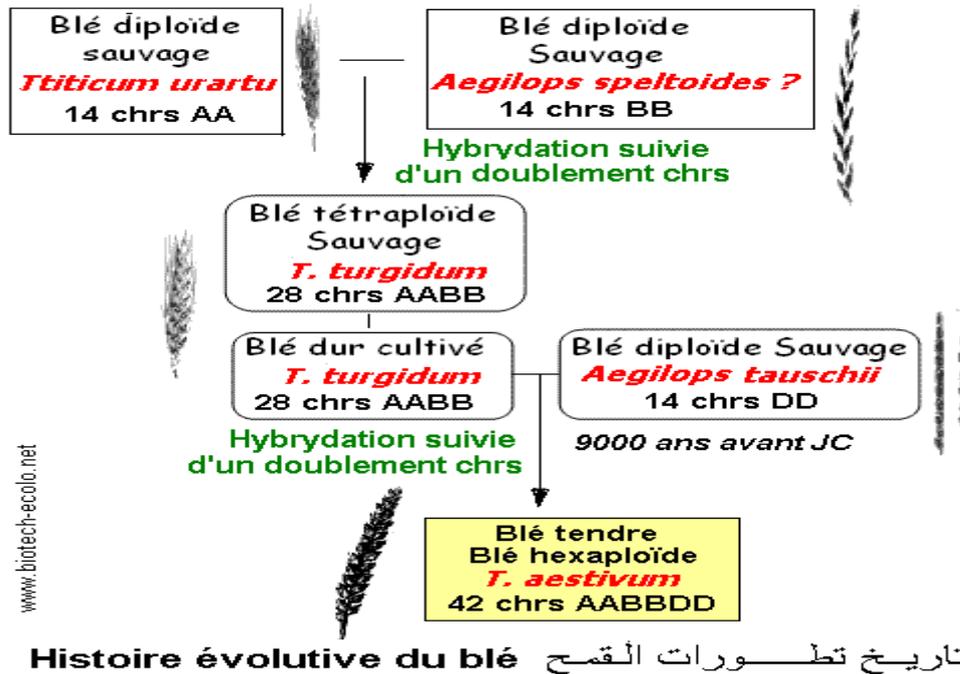
- Présents dans la plupart des espèces sauvages de Cucurbitacées
- Substances toxiques (purgatif, laxatif, coma, mort) : fruits non amers sélectionnés pendant la domestication et par sélection
- Concentration influencée par des facteurs génétiques et environnementaux
- Présents dans différentes parties des plantes : principalement dans les placentas (fruits) et les racines, mais aussi les feuilles (interaction avec insectes et acariens). L'utilisation de marqueurs biochimiques et moléculaires permet de pratiquer une sélection précoce du trait agronomique. Ceci rentre dans le cadre de la [Sélection Assistée par Marqueurs \(MAS\)](#).

d- Hybridation interspécifique

1- Hybridation interspécifique naturelle

Exemple: blé cultivé. Il existe des espèces différentes du genre *Triticum* comme *T.turgidum* (blé dur tétraploïde, $2n = 28$), *T. aestivum* (blé tendre hexaploïde, $2n = 42$). Les études cytogénétiques indiquent que les **blés tétraploïdes** possèdent deux génomes **A** et deux génomes **B** (**AA BB**). Ils

seraient issus d'un croisement entre les espèces sauvages diploïdes, *T. monococcum* (génomme AA, $n = 7$, $2n = 14$) x *T. searsii* (génomme SS).



Le **blé hexaploïde** possède 3 génomes (AA, BB, DD): c'est un hybride de *T. turgidum* (AA, BB) et de *T. tauschii* (génomme DD). Dans ces deux cas, l'hybridation a été suivie d'un **doublement des chromosomes**. En effet, les cellules mères des spores de l'hybride ABC ne peuvent subir la méiose, car les **chromosomes très différents ne s'apparient pas de façon régulière**, ce qui rend stérile ce type d'hybride. Le doublement des chromosomes des trois génomes (AA, BB, DD) rend l'hybride fertile, chaque chromosome trouve son partenaire dans sa propre copie, et l'appariement méiotique est ainsi possible. L'**amphiploïde** est un hybride dont le stock des chromosomes a été doublé.

2- Hybridation interspécifique synthétique

- Fusion de protoplastes: recommandée lorsque le croisement est impossible
- Culture *in vitro* d'embryon immature (sauvetage d'embryon): recommandée pour le cas d'embryons non viables
- Hybride interspécifique stérile: utilisés pour les espèces à multiplication végétative. La fertilité peut être rétablie artificiellement en traitant les F1 par la colchicine. La colchicine est un alcaloïde qui empêche la formation du fuseau de division en début de mitose. Les chromatides se séparent mais sans migration aux pôles. Le noyau se reconstitue avec un stock chromosomique double. Plusieurs recherches sont orientées vers la détection précoce d'hybrides interspécifiques. Exemple d'**hybrides amphiploïdes**: le **triticale** (blé x seigle), nouvelle espèce céréalière créée par l'homme en 1984.

III- Schémas de sélection des plantes autogames

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

Pedigree Sélection généalogique	SSD Sélection 'Single Seed Descent'	Bulk Sélection généalogique différée
1. Choix de 300 à 500 épis dans F2	1. Prélèvement de 1 à 2 grains sur chaque plante F2	1. Récolte de la totalité des grains. Sélection des 2000 plus gros
2. Famille F3 (300 à 500) Choix sur résistance aux maladies et teneur en protéine des grains	2. Population F3 Prélèvement de 1 à 2 grains sur chaque plante	2. Population F3 Récolte de la totalité des grains. Sélection des 2000 plus gros
3. Famille F4 (20 à 50) choix sur résistance, rendement teneur en protéine	3. Population F4 Prélèvement de 1 à 2 grains sur chaque plante	3. Population F4 Récolte de la totalité des grains. Sélection des 2000 plus gros
4. Famille F5 (10 à 30) choix comme F4	4. Population F5 choix de 500 à 900 épis	4. Population F5 choix de 500 à 900 épis
5. Famille F6 (6 à 15) choix comme F4	5. Famille F6 (500 à 900) choix résistance maladie, teneur en protéine	5. Famille F6 (500 à 900) choix comme SSD
6. Familles F7 (5 à 12) choix comme F4	6. Familles F7 (20 à 40) choix résistance maladie, teneur protéine, rendement	6. Familles F7 (20 à 30) idem F6
7. Famille F8 (4 à 8)	7. Famille F8 (10 à 20)	7. Famille F8 (10 à 20)

1- Sélection Pedigree (sélection généalogique):

La méthode pedigree (sélection généalogique) permet d'isoler rapidement des traits désirables concernant des caractères à **hérédité qualitatives** comme la résistance aux maladies, la précocité et la couleur de la graine. Les caractères à hérédité quantitative, en particulier le rendement, sont plus difficiles à évaluer au cours des premières générations (F2 et F3) sur la base d'une plante individuelle. Considérant le niveau élevé d'hétérozygotie durant les premières générations, l'hétérosis peut affecter la performance des plantes surtout lorsqu'elles sont espacées. Cependant, les sélectionneurs tendent à choisir les plantes qui apparaissent les plus productives.

2. 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. La sélection par la méthode SSD est plus pratique lorsqu'on peut obtenir plus d'une génération par an. L'utilisation des serres et pépinières en contre saison permettent d'avancer rapidement des générations.

3. Sélection Bulk :

La méthode bulk est également appelée **sélection généalogique** différée car dans cette méthode, la sélection a lieu après fixation des lignées. 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.

IV- 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.).

Chargée du cours : *Dr Messikh s*