

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA

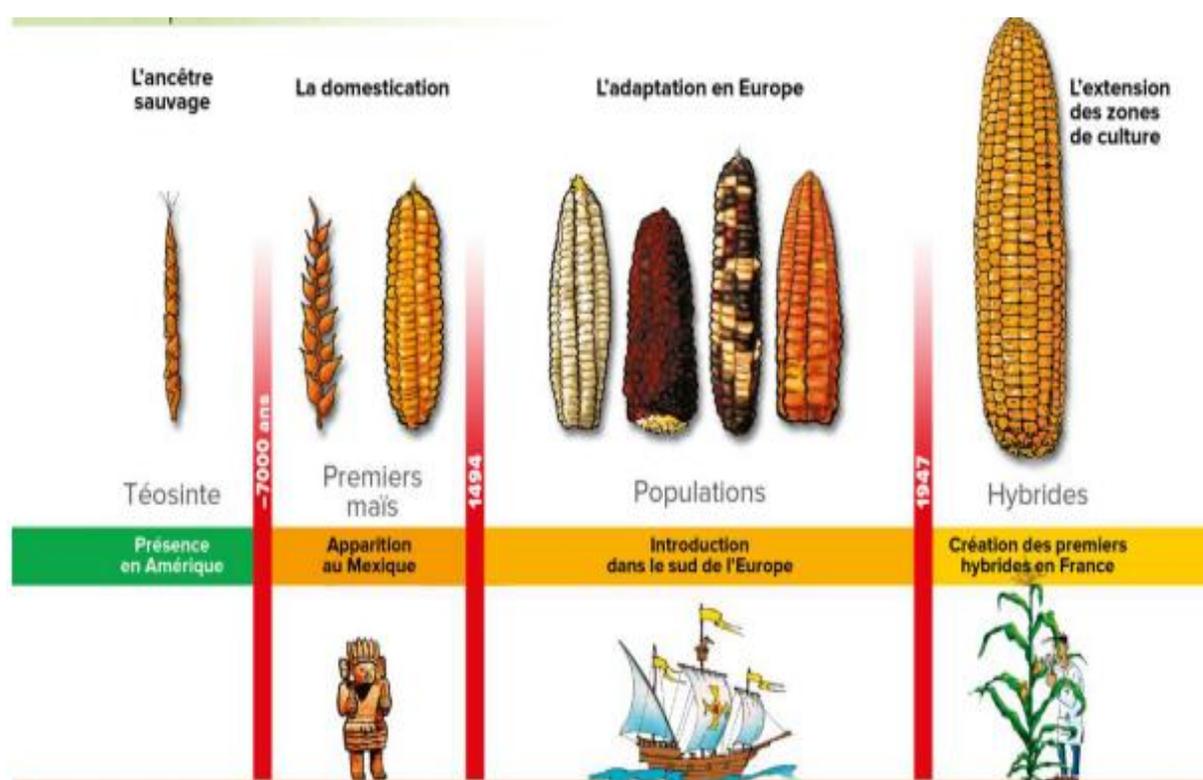
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Cours de master 2 productions végétales

Planification de Stratégies d'Amélioration



Réalisé par :
Dr. Hanane BEDJAOUI

LISTE DES FIGURES

	Page	
Fig. 1	Histoire de la sélection du maïs	2
Fig. 2	création variétale chez la pomme de terre	3
Fig. 3	hybrides simple, double et trois voies	15
Fig. 4	Sélection SSD (single seed descent)	21
Fig. 5	Sélection par la méthode de Bulk	22
Fig. 6	Sélection par la méthode pedigree	23
Fig. 7	Sélection par la méthode Bulk/pedigree	24
Fig. 8	Sélection par la méthode du pedigree modifié	25
Fig. 9	Sélection massale	26
Fig. 10	Sélection phénotypique récurrente	27
Fig. 11	Sélection des variétés Hybrides	28
Fig. 12	Sélection des variétés Clonales	30
Fig. 13	Sélection des variétés Synthétiques	32
Fig. 14	Backcross ; Sélection des variétés multilignées	35
Fig. 15	Pollinisation libre	37
Fig. 16	Test Polycross ; principe	37
Fig. 17	Test Polycross ; exemples	38
Fig. 18	Test Topcross	40
Fig. 19	Dispositif hiérarchique	40
Fig. 20	Dispositif diallèle	42

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tab. 1 Evolution de la fréquence des homozygotes et des hétérozygotes	17
Tab. 2 Ségrégations à la F2 et apparition de nouveaux génotypes	19
Tab. 3 Evolution de l'homozygotie au cours de générations	19
Tab. 4 Dispositif factoriel	41
Tab. 5 Dispositif biparental	41
Tab. 6 Exemple de diallèle complet avec $p=6$	43

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Table des matières	
Préambule	
CHAPITRE I: INTRODUCTION À LA SÉLECTION	
I	1
Introduction à la Sélection	
I.1	2
Définition	
I.2	3
Sélection	
I.3	3
Objectifs généraux de l'amélioration des plantes	
I.3.1.	3
Obtenir une bonne qualité des produits	
I.3.2.	4
Respecter l'environnement	
I.3.3.	4
Augmenter les quantités produites	
I.3.4.	4
Répondre aux besoins spécifiques des industries de l'agroalimentaire	
I.4	4
Approche globale de la sélection	
I.5	5
Sélection :approche multidisciplinaire	
I.6	9
Éléments de base pour une planifier une stratégie de sélection	
CHAPITRE II: TYPES DE VARIÉTÉS À SÉLECTIONNER	
II	11
Types de variétés à sélectionner	
II.1	11
Détermination du type de variété à développer	
II.1.1.	11
Schéma de sélection	
II.1.2.	11
Modes de reproduction	
II.1.3.	12
Espèces annuelles et pérennes	
II.1.4.	12
Traits ou Caractère qualitatifs	
II.1.5.	13
Traits ou Caractère quantitatifs	
II.2	13
Définition et caractéristiques des différents types de variétés	
II.2.1.	13
Variétés lignées pures	
II.2.2.	13
Variétés populations (allogames ; à pollinisation libre ou croisée)	
II.2.3.	14
Variétés hybrides	
II.2.4.	15
Variétés clonales	
II.2.5.	15
Variétés synthétiques	
II.2.6.	16
Variétés multilignées	

II.2.7.	Variétés composites	16
CHAPITRE III: SCHÉMAS DE SÉLECTION		
III	Schémas de Sélection	17
III.1	Variabilité génétique	17
III.2	Schéma de sélection	18
III.2.1.	Variétés lignées pures	19
III.2.1.1.	Caractéristiques	19
III.2.1.2.	Schéma (s) de sélection	20
A.	SSD Single seed descent	20
B.	Méthode de Bulk (sélection généalogique différée)	21
C.	Méthode pedigree (sélection généalogique)	23
D.	Méthode Bulk/pedigree	24
E.	Méthode du pedigree modifié	25
III.2.2.	Variétés populations (allogames ; à pollinisation libre ou croisée)	26
III.2.2.1.	Caractéristiques	26
III.2.2.2.	Schéma (s) de sélection	26
A.	Sélection massale	26
B.	Sélection phénotypique récurrente	27
III.2.3.	Variétés hybrides	28
III.2.3.1.	Caractéristiques	28
III.2.3.2.	Schéma de sélection	28
III.2.4.	Variétés clonales	29
III.2.4.1.	Caractéristiques	29
III.2.4.2.	Schéma de sélection	30
III.2.5.	Variétés synthétiques	31
III.2.5.1.	Caractéristiques	31
III.2.5.2.	Schéma de sélection	32
III.2.6.	Variétés multilignées	33
III.2.6.1.	Caractéristiques	33
III.2.6.2	Backcross (rétrocroisement)	34

A.	Caractéristiques	34
B.	Schéma de sélection	35
CHAPITRE IV : PLANS DE CROISEMENT		
IV	Plans de croisements	36
IV.1	Pollinisation libre	36
IV.2	Polycross	37
IV.3	Test cross ou Top cross	39
IV.4	Dispositif hiérarchique	40
IV.5	Dispositif factoriel	41
IV.6	Dispositif biparental	41
IV.7	Dispositif diallèle	42
V	Références bibliographiques	44

PRÉAMBULE

Ce cours proposé porte sur la planification des stratégies d'amélioration végétale et les éléments de base permettant le choix d'un schéma de sélection donné. Il fournit des connaissances fondamentales sur la prise de décision quant aux différents processus qui se présentent aux sélectionneurs lors de l'adoption d'une technique. Ce polycopié décrit les différentes méthodes suivies en sélection des plantes cultivées tout en considérant le type variétal désiré. Il s'adresse aux étudiants qui s'intéressent aux productions végétales et leur sélection et qui y trouveront tous les outils dont ILS auront besoin pour non seulement dresser un schéma de sélection mais prendre les bonnes décisions à chacune de ses étapes afin de parvenir à réaliser l'objectif de sélection déterminé au préalable.

CHAPITRE I: INTRODUCTION À LA SÉLECTION

1.1. Définition

Ensemble des méthodes et techniques permettant de créer de nouveaux cultivars supérieurs aux variétés préexistantes pour différents caractères : rendements, qualité, résistances aux maladies et aux prédateurs, adaptation aux climats et sol. Ses objectifs varient du consommateur au producteur.

Selon Vavilov (agronome russe : 1935) la sélection est « l'évolution des plantes dirigée par la volonté de l'homme ». De même, Frankel (chercheur australien : 1958) considère qu'il s'agit de « l'ajustement génétique des plantes au service de l'homme »

La sélection commence comme un art et devient une science.

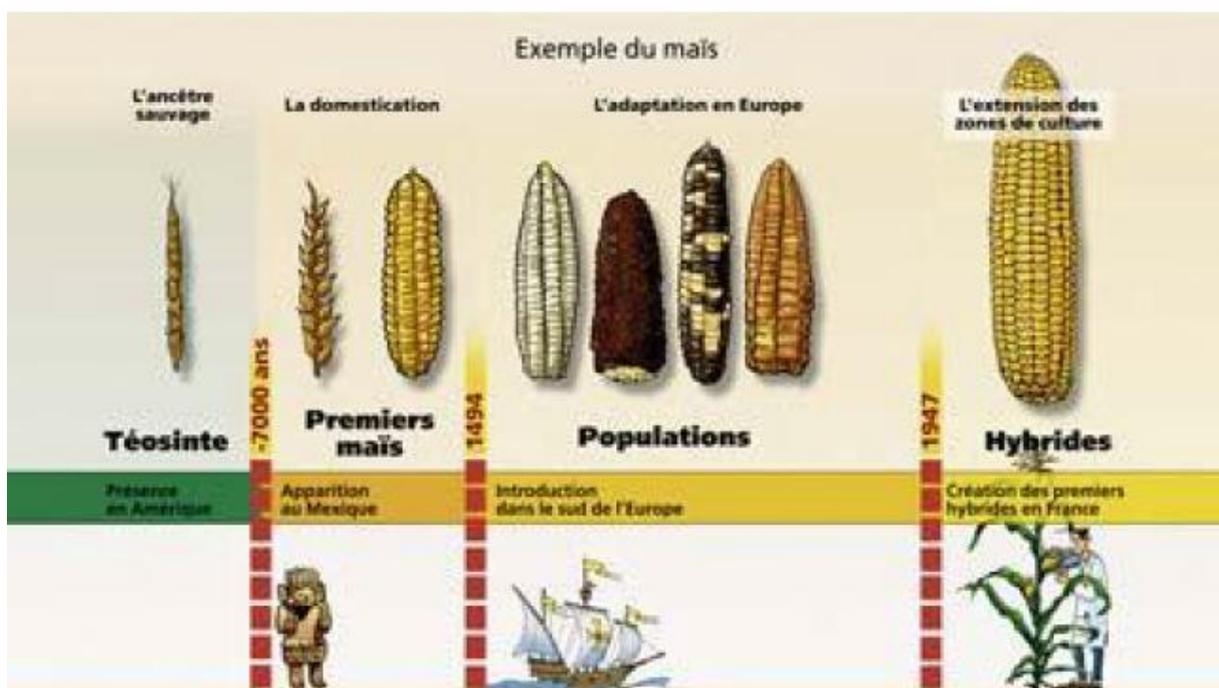


Figure 1 : Histoire de la sélection du maïs

Exemple : du maïs

L'histoire du maïs est étroitement liée à celle de l'humanité. Grâce au travail de l'homme, cette plante a évolué et son aire de culture s'est développée. Le maïs résulterait de la domestication du téosite par l'homme.

I.2. 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.

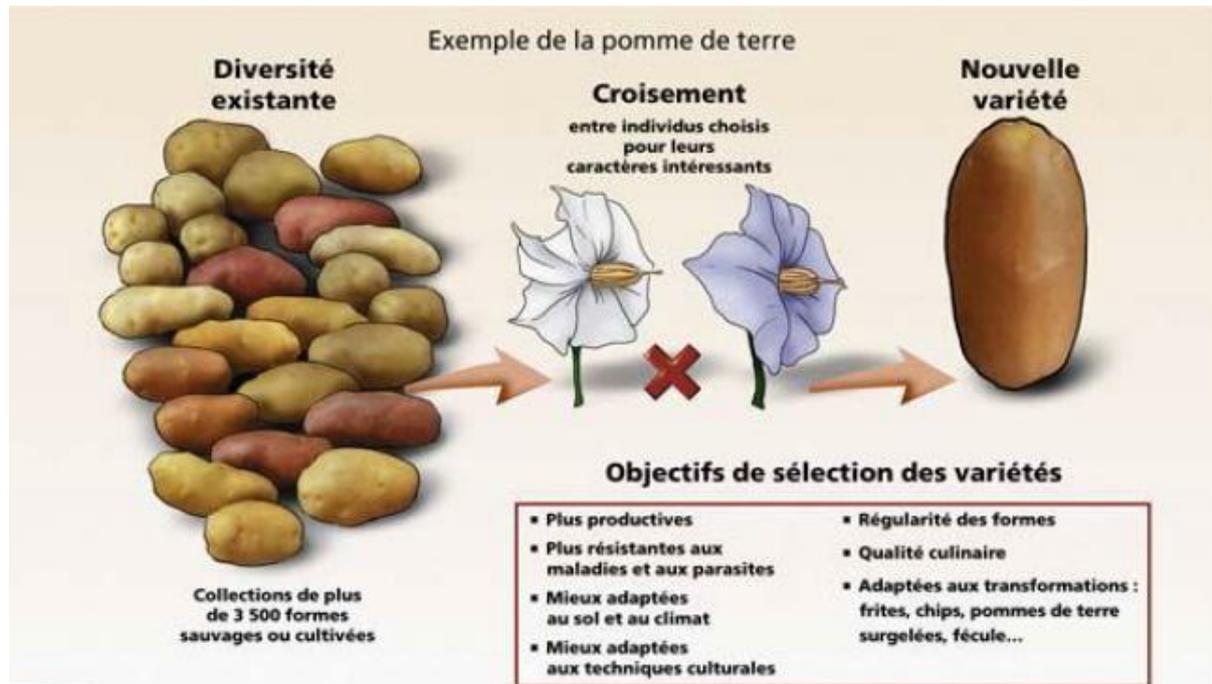


Figure 2 : création variétale chez la pomme de terre.

I.3. Objectifs généraux de l'amélioration des plantes

L'objectif de la sélection végétale est de développer des cultivars supérieurs, adaptés à des conditions environnementales spécifiques et adaptés à une production économique dans un système de culture commerciale.

Les bénéfices apportés par l'amélioration des plantes sont significatifs dans quatre domaines majeurs :

- La qualité des produits
- La performance des plantes
- La préservation de l'environnement
- Les réponses aux besoins et aux contraintes des industries agroalimentaires

I.3.1. Obtenir une bonne qualité des produits

Les sélectionneurs sont parvenus à la fin des années 60 à supprimer l'acide érucique des graines de colza, car c'est un acide gras qui présente peu d'intérêt sur le plan nutritionnel. De la même

façon, on sélectionne le tournesol, le maïs et de nombreuses espèces pour améliorer dans différentes variétés, la teneur et la nature des protéines, des huiles, des sucres. Enfin la qualité sanitaire des plantes et des graines est un axe essentiel de sélection qui vise à éliminer ou diminuer tout composé toxique, nuisible, inadapté ou incompatible avec une utilisation industrielle ou alimentaire.

I.3.2. Respecter l'environnement

On demande de plus en plus à l'agriculture de respecter l'environnement, de fournir des matières premières pour des activités industrielles, et de produire des molécules à usage pharmaceutique. Les sélectionneurs prennent en compte ces nouvelles demandes afin, par exemple, de permettre à partir des plantes la production d'énergie, de substances transformées à usage non alimentaire, de vaccins ou de médicaments. Aujourd'hui, pour atteindre ces différents vise à éliminer ou diminuer tout composé toxique, nuisible, inadapté ou incompatible avec une utilisation industrielle ou alimentaire.

I.3.3 Augmenter les quantités produites

A été d'abord l'objectif principal des sélectionneurs. Dans la sélection de toutes les espèces végétales, les sélectionneurs recherchent donc à s'adapter aux facteurs qui limitent les rendements : stress dus à la chaleur, à la sécheresse, au froid ; maladies (champignons, bactéries, virus...) et parasites (insectes) ; casse ou verse des tiges et des plantes, ... Le potentiel de production des espèces végétales peut également être accru par une amélioration de la physiologie des plantes : augmentation de la photosynthèse, de la capacité à mobiliser les réserves vers les parties utiles de la plante : grains, racines... objectifs situés à des niveaux d'exigence élevés et de plus en plus diversifiés, les sélectionneurs doivent faire la synthèse de l'ensemble des connaissances : physiologie et biologie des plantes (modes de reproduction, parasites...), de leurs aptitudes à la transformation (valeur boulangère pour le blé, valeur brassicole pour l'orge...) et des mécanismes de la génétique (localisation et fonctions des gènes).

I.3.4. Répondre aux besoins spécifiques des industries de l'agroalimentaire

Les sélectionneurs répondent aussi aux besoins et aux contraintes techniques des industriels de l'agroalimentaire. La qualité 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

4. Approche globale de la sélection

La démarche suivie par le sélectionneur, même lorsqu'il utilise les biotechnologies, reste celle d'un schéma de sélection classique qui peut se décomposer en quatre grandes étapes :

- a. Recenser le matériel génétique existant en mettant en collection les écotypes et le matériel déjà sélectionné ;
- b. Observer, choisir et croiser le matériel de départ. Il s'agit de réunir dans une seule plante les caractères intéressants et complémentaires des parents ;
- c. Créer, fixer et évaluer les nouvelles plantes après le croisement des parents. Les grains récoltés sont semés pour donner la première génération, F1, où toutes les plantes sont identiques. A la deuxième génération, la F2, les plantes obtenues sont très différentes les unes des autres car il y a disjonction des caractères. A partir de cette génération, la sélection commence. Le sélectionneur choisit les plantes en fonction de critères définis correspondant le mieux aux objectifs de départ.

Ces plantes, par autofécondations successives, aboutissent à la création de lignées, soumises à l'épuration. Pour la création de variétés hybrides, il faudra en outre choisir le parent se combinant le mieux avec les lignées obtenues.

A partir de la F5, les individus sont plus stables. Le sélectionneur met alors en place des parcelles d'essais pour étudier le comportement agronomique de la variété dans différentes régions. Pour les hybrides, il s'agira également d'étudier le comportement des lignées en fonction de leur aptitude à la combinaison. Des tests de valeur technologique sont également effectués en laboratoire.

Parallèlement, se poursuit la fixation des caractères par autofécondations successives (F5 à F8) et épuration ;

Inscrire au Catalogue officiel des variétés : La variété sélectionnée est déposée au Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) pour subir deux ou trois années d'examen selon l'espèce, en vue de son inscription. La variété sera jugée sur sa valeur agronomique et technologique (VAT) et sur des critères de distinction, d'homogénéité et de stabilité (DHS). Elle pourra ensuite être multipliée et commercialisée sous forme de semences certifiées.

I.5. Sélection : approche multidisciplinaire

La sélection végétale implique une approche pluridisciplinaire, un sélectionneur de plantes qui réussit devra avoir des connaissances dans de nombreux (sinon tous) les sujets suivants :

- **Évolution** : Il est nécessaire de connaître les progrès passés en matière d'adaptation des espèces de plantes cultivées si l'on veut continuer à progresser à l'avenir. Lorsqu'il s'agit d'une espèce de culture, un sélectionneur de plantes bénéficie de la connaissance de l'échelle de temps des événements qui ont modelé la culture donnée. Par exemple, le

moment de la domestication, la zone géographique d'origine et les améliorations antérieures sont tous importants et aideront à fixer des objectifs futurs réalisables.

- **Botanique** : La matière première de tout programme de sélection est le germoplasme disponible (lignées, génotypes, accessions, etc.) à partir duquel des variations peuvent être générées. La relation biologique, qui existe au sein d'une espèce et avec d'autres espèces, sera un facteur déterminant indiquant la variabilité et la disponibilité du germoplasme.
- **Biologie** : La connaissance de la biologie des plantes est essentielle pour créer une variation génétique et formuler un schéma de sélection et d'élevage approprié. Les modes de reproduction, les types de cultivars et les systèmes de sélection présentent un intérêt particulier.
- **Génétique** : La création de nouveaux cultivars nécessite la manipulation des génotypes. La compréhension des procédures génétiques est donc essentielle pour le succès de la sélection des plantes. La génétique est un sujet en constante évolution, mais les connaissances et la compréhension particulièrement utiles porteront sur l'héritage d'un seul gène, la génétique des populations, les fréquences probables des génotypes en cours de sélection et la prévision des paramètres génétiques quantitatifs - tous ces éléments seront à la base des décisions sur la stratégie de sélection la plus efficace.
- **Pathologie** : L'un des principaux objectifs de la sélection végétale est d'accroître la productivité et la qualité en sélectionnant des génotypes supérieurs. Un facteur limitant la production économique est l'impact des parasites et des maladies. C'est pourquoi la mise au point de cultivars résistants aux agents pathogènes nuisibles a largement contribué à une production plus rentable avec des intrants agrochimiques réduits. De même, les nématodes, les insectes nuisibles et les virus peuvent tous avoir des effets néfastes sur le rendement et/ou la qualité. C'est pourquoi les sélectionneurs de plantes doivent également avoir des connaissances en nématologie, en entomologie et en virologie.
- **La science des mauvaises herbes** : La réponse d'un génotype à la concurrence des populations de mauvaises herbes aura un effet sur le succès d'un nouveau cultivar. Les cultivars qui ont un mauvais établissement de la plante, ou qui n'ont pas de capacité concurrentielle ultérieure, ont peu de chances de réussir, en particulier dans les systèmes où des applications réduites ou nulles d'herbicides sont souhaitables, ou leur utilisation est limitée. De même, dans de nombreux cas, les génotypes réagissent différemment, même aux herbicides sélectifs. La tolérance aux herbicides des nouvelles cultures est considérée favorablement par de nombreux groupes de sélection, bien que la tolérance des cultivars aux herbicides à large spectre puisse entraîner des difficultés de gestion dans la rotation des cultures ;

- **Science alimentaire** : L'amélioration de la qualité à l'utilisation finale est considérée comme l'un des principaux objectifs de tous les programmes de sélection des cultures. Comme la plupart des espèces cultivées sont destinées à la consommation humaine ou animale, il est important de connaître la nutrition alimentaire et d'autres sujets connexes.
- **Biométrie** : La gestion d'un programme de sélection végétale comporte des aspects qui ne sont pas différents de l'organisation d'une série de grandes expériences sur plusieurs sites et années. Pour maximiser la probabilité de succès, il est nécessaire d'utiliser une approche expérimentale appropriée à tous les stades du programme de sélection. La sélection végétale est continuellement décrite comme un "jeu de nombres". Dans de nombreux cas, c'est vrai, et une sélection réussie donnera lieu à de vastes ensembles de données sur lesquels des décisions de sélection devront être prises. Ces décisions doivent souvent être prises sur de courtes périodes, par exemple entre la récolte d'une culture et la plantation d'une autre. C'est pourquoi les sélectionneurs de plantes doivent être de bons gestionnaires de données.
- **Agronomie** : L'objectif des sélectionneurs est de prédire les performances des génotypes nouvellement identifiés dans toute une série d'environnements. Pour ce faire, il faudra effectuer des recherches sur les caractéristiques agronomiques qui peuvent être liées à la tolérance au stress, comme la chaleur, la sécheresse, l'humidité, la salinité et la fertilité. Ces expériences sont essentielles pour que les agriculteurs (le principal client) reçoivent les paramètres agronomiques optimaux de culture, qui permettront de maximiser le potentiel génétique de la nouvelle variété.
- **Biologie moléculaire** : Les progrès des techniques de biologie moléculaire jouent un rôle croissant dans la sélection végétale moderne. Les marqueurs moléculaires sont de plus en plus utilisés par les phytogénéticiens pour aider à sélectionner (indirectement et directement) des caractères difficiles à évaluer en laboratoire, ou dont la détermination précise à l'échelle d'une petite parcelle prend beaucoup de temps ou est coûteuse. Le génie génétique et d'autres opérations de culture tissulaire deviennent la norme dans de nombreux programmes de sélection végétale et il est probable que de nouvelles avancées seront réalisées dans le domaine de l'avenir. La connaissance de toutes ces techniques et la sensibilisation continue aux recherches en cours seront nécessaires pour que de nouvelles procédures puissent être intégrées dans le programme de sélection, le cas échéant.
- **Production** : Il ne faut jamais sous-estimer la contribution des agriculteurs, et des autres producteurs, au développement des variétés. Il convient également de noter que les agriculteurs sont les premiers clients des produits issus de la sélection végétale. La

probabilité de réussite d'un nouveau cultivar sera maximisée (ou du moins la probabilité d'un échec complet sera réduite) si les cultivateurs et les systèmes de production sont considérés

- **Gestion** : Il est nécessaire de gérer les personnes, le temps et l'argent. Il a déjà été dit que la sélection végétale est une science multidisciplinaire et cela signifie qu'il faut être capable d'intégrer et d'optimiser les efforts des gens pour utiliser efficacement le temps des sélectionneurs. La durée de la plupart des programmes de sélection signifie que de petites économies proportionnelles de temps peuvent être précieuses et il n'est pas nécessaire de souligner que la sélection doit être rentable et c'est pourquoi le coût du programme sera toujours important comme facteurs majeurs lors de la conception des systèmes de sélection ;
- **Communication** : La plupart des programmes de développement variétal sont constitués de contributions de plus d'un scientifique et il est donc nécessaire que les sélectionneurs de plantes soient de bons communicateurs. La communication verbale et écrite des résultats et des rapports d'essais sera une caractéristique de tous les programmes de sélection. Les publications de recherche et les propositions de subventions sont d'une importance majeure, en particulier pour les sélectionneurs publics, si l'on veut que la crédibilité et le financement soient assurés. Enfin, au moins certains sélectionneurs doivent être capables de transmettre les informations essentielles sur le sujet à futurs sélectionneurs de plantes !;
- **Psychique** : Le succès de la plupart des programmes de sélection végétale ne se réalise pas avant de nombreuses années de sélection et d'essais. Il peut s'écouler douze ans ou plus entre les premiers croisements et la mise en circulation des variétés. Les sélectionneurs de plantes doivent donc être des boules de cristal et essayer de prévoir ce dont le grand public et la communauté agricole auront besoin à l'avenir, quelles maladies persisteront douze ans à l'avance et quels caractères de qualité commanderont les primes les plus élevées ;

En résumé, les sélectionneurs de plantes qui réussissent doivent donc être familiarisés avec toute une série de disciplines scientifiques et de domaines de gestion. Il n'est cependant pas nécessaire d'être un expert ou une autorité dans tous ces domaines.

Cependant, une meilleure connaissance des sciences fondamentales qui sous-tendent les techniques employées, et des espèces végétales concernées, en termes de biologie, de génétique, d'histoire et de pathologie, augmentera les chances d'un sélectionneur de réussir à mettre au point le type de cultivars le plus approprié pour une exploitation future.

I.6. Éléments de base pour une planifier une stratégie de sélection

Réfléchissez à la première question : pourquoi sélectionner ? Pour répondre à cette question, un sélectionneur doit se référer aux objectifs de sélection. Ceux-ci auront été fixés en fonction de critères tels que

- La taille du marché potentiel de la culture ;
- La région ciblée pour la propagation ;
- Les principales déficiences des cultivars actuellement disponibles ;
- Les implications économiques de la lutte contre les carences telles que la résistance aux maladies et aux parasites ;
- Les besoins de l'agriculteur, tels que l'établissement rapide, la maturité précoce, la hauteur de la plante, la résistance à la verse, la capacité de récolte ;
- Les besoins de l'utilisateur final, notamment : l'apparence, la possibilité de stockage, la qualité de traitement, etc.

Il n'est généralement pas possible de sélectionner le large éventail de caractères nécessaires à la réussite d'un nouveau cultivar en une seule saison. Les phytogénéticiens examinent donc les populations de plantes sur plusieurs années, en tenant compte parfois d'un certain nombre de caractères différents à chaque étape de l'évaluation. Après avoir décidé des caractères à privilégier, il est nécessaire de suivre un schéma de sélection organisé pour déterminer quels caractères seront abordés aux différentes étapes.

L'hérédité des caractères sera d'une grande importance pour déterminer non seulement si la sélection doit être effectuée, mais aussi la complexité de l'expérimentation nécessaire pour identifier les types souhaitables.

En outre, la philosophie générale qui sous-tend tout programme de sélection est de maximiser la probabilité de créer et d'identifier des génotypes supérieurs qui feront de nouveaux cultivars réussis. En d'autres termes, ils contiendront toutes les caractéristiques/traits souhaitables nécessaires pour être utilisés dans un système de production.

Le concept de base du développement variétal est très simple et implique trois opérations distinctes :

- Produire ou identifier un germoplasme (l'expression utilisée pour décrire les ressources génétiques, ou plus précisément l'ADN d'un organisme et les collections de ce matériel génétique) génétiquement variable ;

- Effectuer des procédures de sélection de génotypes à partir de ce germoplasme afin d'identifier des génotypes supérieurs présentant des caractéristiques spécifiques ;
- Stabiliser et multiplier ces génotypes supérieurs et mettre en circulation des cultivars pour la production commerciale.

CHAPITRE II: TYPES DE VARIÉTÉS À SÉLECTIONNER

II.1. Détermination du type de variété à développer

Le type de variété le plus approprié qui peut être développé pour répondre au mieux aux besoins d'une situation de production sera déterminé, en partie, par

II.1.1. Schéma de sélection

Un variété (ou une variété) est défini comme un groupe d'un ou plusieurs génotypes qui présentent une combinaison de caractères lui conférant une distinction, une uniformité et une stabilité (DHS).

1. Elle est distincte des autres variétés déjà disponibles. La distinction est souvent définie sur la base de caractères morphologiques dont on sait qu'ils ne sont pas fortement influencés par l'environnement. Mais d'autres caractéristiques telles que la physiologie, la réaction aux maladies ou aux virus, la résistance aux insectes et la qualité chimique peuvent être utilisées ainsi que, de plus en plus, la caractérisation moléculaire dans certains pays (c'est-à-dire les marqueurs d'ADN)

Les nouvelles variétés n'ont pas encore été enregistrés par d'autres organisations de sélection protéger les droits de propriété.

2. L'uniformité est liée au niveau et au type de variation (généralement phénotypique) entre les différentes plantes de la variété. Toute variation de ce type doit être prévisible et pouvoir être décrite par l'obtenteur. La variation doit également être commercialement acceptable et ne doit pas se produire à une fréquence supérieure à celle définie pour ce type de variété.

3. La stabilité d'une variété signifie qu'il doit rester fidèle à sa description lorsqu'il est reproduit ou multiplié.

II.1.2. Modes de reproduction

Il existe des espèces qui sont effectivement 100 % autogames, d'autres qui sont 100 % allogames, mais il existe toute une série d'espèces qui se croisent ou s'auto-pollinisent à des degrés divers. Sur les 122 principales plantes cultivées dans le monde, 32 sont principalement des espèces autogames, 70 sont principalement des espèces à pollinisation croisée (allogames), et les 20 autres sont des espèces à pollinisation croisée mais présentent un certain degré de tolérance aux cycles successifs de consanguinité.

La méthode de pollinisation sera un facteur important pour déterminer le type de variété qui peut, ou qui sera, le plus adapté à la culture.

Par exemple, la plupart des espèces qui peuvent être facilement utilisées dans la production d'hybrides sont généralement issues de la pollinisation croisée mais doivent être tolérantes à la consanguinité par autofécondation. En effet, les hybrides sont en fait la descendance croisée entre deux génotypes consanguins.

II.1.3. Espèces annuelles et pérennes

Les espèces de plantes sont classées en deux catégories : les annuelles et les vivaces. Les plantes cultivées dans le monde sont réparties assez uniformément entre les annuelles (environ 70 espèces) et les vivaces (environ 50 espèces). Toutes les principales espèces de plantes cultivées autofécondées sont des annuelles, tandis que la plus grande majorité des plantes cultivées à pollinisation croisée sont des vivaces. Les plantes vivaces posent plus de difficultés de reproduction que la plupart des annuelles. La plupart des plantes vivaces ne se reproduisent pas au cours des premières années de croissance à partir des semences. La plupart des plantes vivaces sont des variétés clonales, ce qui peut entraîner des difficultés à maintenir des lignées parentales et du matériel de reproduction indemnes de maladies

II.1.4. Traits ou Caractère qualitatifs

Les caractères dont l'expression montre une forme qualitative d'héritage peuvent être facilement sélectionnés, à condition qu'une méthode de criblage appropriée soit disponible pour déterminer la présence ou l'absence du gène unique dans les plantes dans les cultures reproduites par semences. Si l'expression du caractère qualitatif est déterminée par un allèle récessif, un seul tour de sélection devrait permettre de s'assurer que toutes les plantes sélectionnées sont fixées pour le caractère particulier. Si l'allèle souhaitable est complètement dominant, plusieurs cycles de sélection récessive seront nécessaires pour garantir que le caractère est génétiquement fixé dans les plantes sélectionnées.

Les caractères qualitatifs peuvent souvent être sélectionnés relativement rapidement et en utilisant de très petites parcelles (parfois même des parcelles d'une seule plante) par rapport aux caractères quantitatifs hérités.

La sélection pour une telle expression qualitative peut en effet être un outil puissant pour réduire le nombre de génotypes sélectionnés dans un programme de sélection végétale, bien qu'il ne faille jamais oublier que ce sont souvent les caractères hérités quantitativement qui ajoutent le plus de valeur à un nouveau variété (c'est-à-dire le rendement,).

Si la sélection de la première génération doit être effectuée pour des caractères monogéniques, le sélectionneur doit s'assurer que cette sélection n'a pas d'effet négatif sur les populations

sélectionnées (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de lien entre les caractères qualitatifs avantageux et les caractères quantitatifs défavorables ou d'effets d'interaction non désirés).

II.1.5. Traits ou Caractère quantitatifs

Les caractères hérités quantitativement sont généralement plus difficiles à évaluer en raison du potentiel plus élevé de modification de l'expression par l'environnement. Une plus grande expérimentation (réplication ou taille de la parcelle) est nécessaire pour maximiser la réponse de la sélection. Par conséquent, de nombreux caractères quantitatifs ne sont pas sélectionnés de manière positive lors des premières étapes de sélection de la génération. La sélection pour ces caractères est souvent retardée jusqu'à ce que le nombre de génotypes à tester soit réduit et que de plus grandes quantités de matériel végétal soient disponibles pour des tests plus sophistiqués.

II.2. Définition et caractéristiques des différents types de variétés

II.2.1. Variétés lignées pures

Les variétés de lignées pures sont des lignées homozygotes ou quasi homozygotes. Ils peuvent être produits principalement dans des espèces naturellement autogames (par exemple, le blé, l'orge, le pois, le soja). Mais ils peuvent également être produits à partir d'espèces que nous avons tendance à considérer comme des espèces à pollinisation croisée (par exemple, le maïs de lignée pure, les concombre et oignon). Il n'existe pas de définition universellement reconnue de ce qui constitue une variété de lignée pure, mais il est généralement admis qu'il s'agit normalement d'une variété dans lequel la lignée est homozygote pour la grande majorité de ses loci (généralement 90 % ou plus).

La méthode la plus courante utilisée pour développer des variétés à lignées pures à partir d'espèces consanguines consiste à hybrider artificiellement deux lignées parentales choisies (généralement) homozygotes, à autoféconder la première génération filiale hétérozygote (F1) pour obtenir des semences F2, et à continuer à autoféconder les générations futures, jusqu'à ce que la lignée soit considérée comme une "véritable sélection commerciale", peut-être la F6 ou la F7. En même temps, il est courant de procéder à une sélection phénotypique récurrente sur la population en ségrégation au cours de chaque génération.

II.2.2. Variétés populations (allogames ; à pollinisation libre ou croisée)

Les variétés à pollinisation libre sont :

- Des populations hétérogènes composées de différentes plantes,

- Génétiquement non identiques ont un degré élevé d'hétérozygotie.
- Proviennent exclusivement d'espèces à pollinisation croisée.

Les plantes au sein de ces populations ont été sélectionnées selon une norme qui permet de varier de nombreux traits mais qui montre une stabilité d'expression "suffisante" des caractères d'intérêt.

Lors de la mise au point de variétés de sélection, l'hybridation initiale entre deux populations de sélection montre une ségrégation à la génération F1. Les populations souhaitables sont identifiées et améliorées en augmentant la fréquence des phénotypes souhaitables au sein de ces populations.

II.2.3. Variétés hybrides

Les variétés hybrides (hybrides à croisement simple, à trois voies et à double croisement) sont très homogènes et très hétérozygotes. Un véritable hybride F1 ne peut pas être reproduit car la descendance se séparerait et donnerait une récolte très peu uniforme (bien que des variétés hybrides F2 soient parfois semés).

La sélection d'hybrides est la plus complexe des méthodes de sélection. Le processus de développement d'une variété comprend au moins deux étapes.

- a. Sélectionner les lignées consanguines souhaitables parmi les populations pollinisées choisies.
- b. Ensuite, les utiliser dans des croisements tests pour permettre leur comparaison et leur évaluation par rapport à leur capacité de combinaison générale ou spécifique. Des parents supérieurs sont sélectionnés et ceux-ci sont ensuite hybridés pour produire des semences du variété hybride. Les lignées parentales sont ensuite maintenues et utilisées pour reproduire continuellement les hybrides F1.

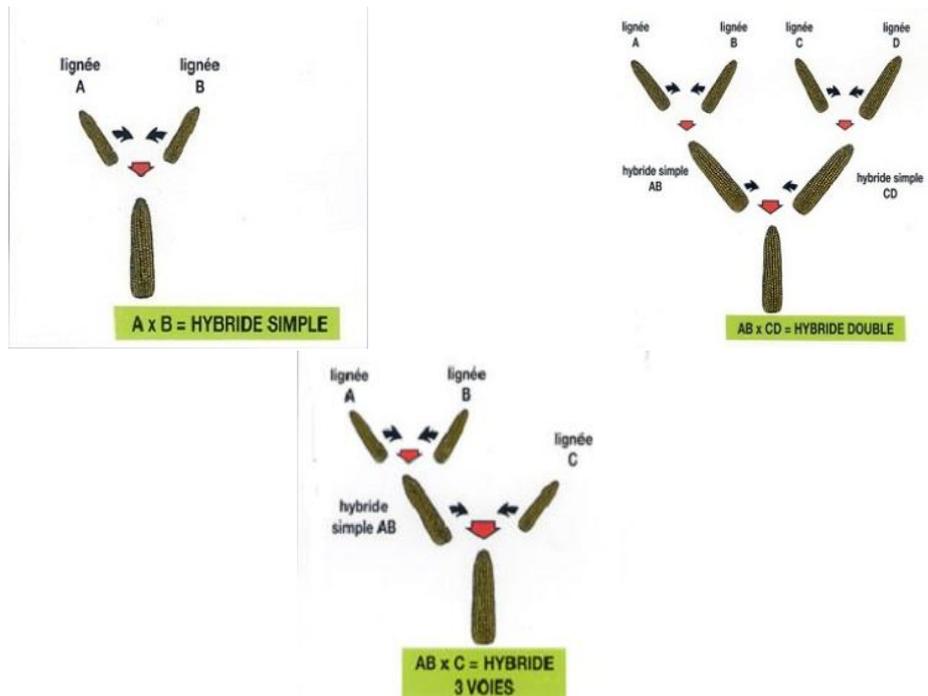


Figure 3 : hybrides simple, double et trois voies.

II.2.4. Variétés clonales

Les variétés clonales sont génétiquement uniformes mais ont tendance à être très hétérozygotes. L'uniformité des types de plantes est maintenue par la reproduction végétative plutôt que par la reproduction sexuée. Les variétés sont multipliées végétativement par reproduction asexuée (clones), y compris les boutures, tubercules, bulbes, rhizomes et greffons (par exemple, pomme de terre, pêche, pomme). Une variété peut également être classée comme clone si elle est multipliée par des apomixies obligatoires (est une forme de multiplication asexuée, sans fécondation ni méiose, qui fait intervenir la graine sans qu'il y ait union entre gamètes mâles et femelles exp : le mil, Certains pommiers comme *Malus hupehensis...*).

Le développement d'une variété clonale commence soit par l'hybridation sexuelle de deux parents (souvent des clones), soit par l'autofécondation de l'un d'entre eux afin de générer une variabilité génétique par le processus normal de reproduction sexuelle.

II.2.5. Variétés synthétiques

Le croisement d'un nombre déterminé de lignées de semences génère une variété synthétique. Dans le sens le plus simple du terme, une "première génération de variétés synthétiques biparentales" est très similaire à un hybride F1. Les lignées synthétiques peuvent être dérivées de lignées croisées ou de lignées autogames, bien que ce dernier cas ne soit pas fréquent. Les variétés synthétiques ont une série de catégories (Syn.1, Syn.2,..., Syn.n) en fonction du nombre

de générations à pollinisation libre qui ont été cultivées depuis que la lignée synthétique a été générée. Par exemple, la première génération de plantes synthétiques est classée dans la catégorie Syn.1, la génération suivante est classée dans la catégorie Syn.2, etc. L'utilisation de variétés synthétiques a connu le plus de succès dans les cas où les espèces cultivées présentent une auto-incompatibilité partielle (par exemple, la luzerne). Parmi les autres cultures pour lesquelles des variétés synthétiques ont été mises en circulation, on peut citer le seigle colza, le millet perlé, l'herbe à balais et la graminée des vergers.

II.2.6. Variétés multilignées

Les variétés multilignées sont des mélanges d'un certain nombre de variétés ou de lignées de sélection différents. Chaque génotype du mélange sera représenté par au moins 5 % du lot de semences total. De nombreuses variétés multilignées sont le résultat du développement de lignées quasi isogéniques et de leur utilisation pour initier le mélange. Ces variétés sont généralement des espèces autogames. Une multilignée n'est donc pas la même chose qu'une variété synthétique où le but est de maintenir l'hétérozygotie par croisement entre les lignées parentales. Les multilignées sont devenues populaires dans le but d'augmenter la résistance aux maladies en réduisant la pression exercée sur un agent pathogène pour qu'il évolue/mute afin de surmonter la résistance biologique. Par exemple, des lignées d'orge quasi isogéniques, qui diffèrent en ce que chaque lignée présente une résistance qualitative différente à la maladie, pourraient être mélangées pour former une multilignée. L'idée principale est de rendre l'épidémiologie de l'agent pathogène telle qu'il serait moins susceptible d'évoluer vers la virulence de tous les gènes de résistance du mélange.

II.2.7. Variétés composites

Les populations composites sont des variétés obtenues par croisement entre deux ou plusieurs variétés ou lignées de sélection (par exemple, l'orge ou les haricots de Lima). Après les premières hybridations, la population composite est multipliée dans un environnement choisi de manière à ce que les ségrégants les plus adaptés prédominent et que ceux qui le sont moins se reproduisent à des fréquences plus faibles. Une variété à population croisée est donc en constante évolution et peut être considéré (dans un sens très large) comme similaire aux anciennes races de terre. Les semences des sélectionneurs ne peuvent jamais être conservées car la variété a été mis en circulation à l'origine.

CHAPITRE III: SCHÉMAS DE SÉLECTION

La sélection est basée sur la variabilité génétique qui est essentielle pour le sélectionneur. Sans elle, aucun progrès génétique n'est possible par sélection.

III.1. Variabilité génétique

La variabilité génétique résulte du fait que des individus différents possèdent des génotypes différents. Une population constituée par des génotypes AA, Aa, aa est génétiquement variable.

$$P1 (AA) \times P2 (aa)$$

$$F1: 100\% Aa$$

$$F2: \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa$$

Après chaque génération d'autofécondation, l'hétérozygotie est réduite de moitié (Tableau 1).

Génération	Evolution de fréquences de génotypes (1 gène avec 2 allèles)	Fréquence Hétérozygotes	Fréquence Homozygotes
Parents	AA x aa ↓	0 %	100 %
HF1	1Aa ↙ ↓ ↘	100 %	0 %
F2 :	$\frac{1}{4} AA \quad \frac{1}{2} Aa \quad \frac{1}{4} aa$ ↙ ↓ ↘	50 %	50 %
F3 :	$\frac{1}{4} AA + \frac{1}{8} AA = \frac{3}{8} AA \quad \frac{1}{4} Aa \quad \frac{1}{4} aa + \frac{1}{8} aa = \frac{3}{8} aa$ ↙ ↓ ↘	25 %	75 %
F4 :	$\frac{3}{8} AA + \frac{1}{16} AA = \frac{7}{16} AA \quad \frac{1}{8} Aa \quad \frac{3}{8} aa + \frac{1}{16} aa = \frac{7}{16} aa$	12,5 %	87,5 %
.		.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Tableau 1 : Evolution de la fréquence des homozygotes et des hétérozygotes

Ainsi :

- Toutes les plantes : P1(AA) et P2 (aa) sont homozygotes, homogènes et génétiquement identiques entre elles.
- Toutes les plantes : F1(Aa) sont hétérozygotes, homogènes et génétiquement identiques entre elles.
- La population F2 (AA, Aa, aa) est génétiquement variable, elle est constituée d'individus homozygotes et d'individus hétérozygotes et par, conséquent hétérogène suite à la ségrégation des caractères. Donc toute la variabilité observée entre les individus de P1, P2 et F1 est due à l'environnement ; et toute variabilité observée entre les individus de la population F2 est constituée d'une variabilité en partie d'origine génétique et en partie d'origine environnementale.

III.2. Schéma de sélection

Tous les programmes de sélection réussis ont été conçus autour d'un schéma de sélection.

Le programme de sélection détermine le passage des lignées dans le processus de sélection et l'augmentation du matériel de plantation pour la mise en circulation des variétés.

Le processus de sélection se déroule sur un certain nombre d'années et dans des conditions environnementales différentes.

Les premières étapes de sélection des programmes de sélection impliqueront le criblage de plusieurs milliers de génotypes différents. Le criblage précoce est donc relativement rudimentaire et, dans de nombreux cas, n'implique que la sélection de caractères d'un seul gène.

Après chaque cycle de sélection, les génotypes "meilleurs", plus adaptés ou plus résistants aux maladies seront conservés pour une évaluation plus approfondie, tandis que les lignées les moins adaptées seront éliminées. Ce processus sera répété sur plusieurs années, à chaque étape le nombre de génotypes ou de populations individuelles est réduit et l'évaluation est menée avec une plus grande précision dans l'estimation de la valeur de chaque entrée.

Le schéma de sélection utilisé dépendra fortement de l'espèce cultivée et du type de variété (consanguin, hybride, clone, synthétique, etc.) qui est mis au point.

Les trois phases des schémas de sélection :

- Créer une variation génétique,
- Identifier les lignées recombinantes souhaitables dans la descendance et
- Stabiliser et augmenter le génotype souhaité.

III.2.1. Sélection des variétés lignées pures

III.2.1.1. Caractéristiques

Homozygotie : Tous les allèles de tous les loci sont identiques pour la descendance, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'hétérozygotie à aucun locus. Toutefois, pour une exploitation pratique, le niveau d'homozygotie n'a pas besoin d'être complet. Il est clair que les lignées doivent se reproduire "fidèles au type", mais cela n'est en aucun cas absolu. Le degré d'homozygotie peut être directement lié au nombre de générations d'individus.

Prenons le cas simple d'un seul locus A-a :

Parents	AAbbCCDDceff × AABbccddEEff
F ₁	AABbCcDdEeff
F ₂	AABBCcDceff, AABbCcDDEeff, AAbbCCEcDdff, AABbccDdEeFF, etc.

Tableau 2 : Ségrégations à la F2 et apparition de nouveaux génotypes.

Sur ces six loci deux, seuls les loci A et font le même allèle chez les deux parents (qui sont tous deux complètement homozygotes) et donc le F1 est homozygote à ces deux endroits. Sur les quatre autres loci, les parents ont des allèles différents et la F1 est donc hétérozygote sur ces loci et ceux-ci se séparent dans la F2. Presque tous les programmes de sélection de lignées pures impliquent la sélection de plantes individuelles à un ou plusieurs stades du programme de sélection. Les étapes de la sélection de plantes individuelles auront un impact important sur le degré d'hétérogénéité de la variété finale.

Parents	AA x aa		Frequency of heterozygotes		
F ₁	Aa		100%		
F ₂	AA	Aa	aa		
Frequency	1/4	1/2	1/4		
	↓		↓		
F ₃	AA	AA	Aa	aa	aa
Frequency	1/4	1/8	1/4	1/8	1/4

Tableau 3 : Evolution de l'homozygotie au cours de générations.

Si la sélection de plantes individuelles est effectuée à une génération précoce, par exemple F2, il peut y avoir une plus grande hétérogénéité dans la variété résultant par rapport à une situation où la sélection de plantes individuelles a été retardée jusqu'à une génération ultérieure, par exemple F8, où les plantes individuelles seraient plus homozygotes.

Les sélectionneurs doivent s'assurer qu'un niveau d'uniformité et de stabilité existe tout au long de la multiplication et jusqu'à la commercialisation.

Les agriculteurs auront des préférences pour les variétés qui sont homozygotes, et donc homogènes, pour des caractères particuliers. Ces caractères peuvent être liés à l'uniformité de la maturité, à la hauteur de la plante ou à d'autres caractéristiques liées à la facilité de récolte,

III.2.1.2. Schéma (s) de sélection

Tous les schémas de sélection décrits impliqueraient plus d'un seul croisement au stade du croisement. Un certain nombre de ces croisements seront des croisements à deux parents (parent femelle \times parent mâle, disons $P1 \times P2$), bien que de nombreux éleveurs utilisent des combinaisons de croisements à trois et quatre parents ($[P1 \times P2] \times P3$, et $[P1 \times P2] \times [P3 \times P4]$, respectivement).

A. Sélection par filiation unipare ou filiation monograine ou SSD Single seed descent

Cette méthode est destinée à rétablir rapidement l'homozygotie après une hybridation, sans aucune sélection artificielle : à chaque génération, depuis la F_j , une graine est conservée pour chaque plante semée. Sauf accident, le nombre de lignées, après 5 à 8 générations, correspond au nombre de plantes F_j . Puisqu'il n'y a pas de sélection et le nombre de plantes cultivées étant minime, la culture peut être faite en serre ou dans une région autorisant plusieurs cycles en un an, ce qui réduit beaucoup la durée de l'expérience. Cette méthode convient pour des espèces déjà fortement améliorées, pour combiner des caractères présents chez deux variétés ne différant que par peu de gènes.

La descendance unique de graines implique la croissance répétée d'un certain nombre d'individus d'une population en ségrégation, généralement dans des situations de forte densité et de faible fertilité, afin d'accélérer le temps de semis.

À maturité, une seule graine de chaque plante est replantée. Cette opération est répétée un certain nombre de fois pour obtenir des plantes homozygotes.

La descente d'une seule graine est très bien adaptée à l'augmentation rapide de la génération dans une serre où plusieurs cycles de croissance peuvent être possibles chaque année.

La descente à graines uniques du blé et de l'orge peut être encore accélérée en cultivant les plantes dans des conditions de stress de haute densité, de forte lumière, de croissance racinaire restreinte et de faibles niveaux de nutriments, ce qui se traduit par des plantes rabougries avec seulement une ou deux graines chacune mais avec une période de croissance raccourcie par rapport à la croissance dans des conditions normales (jusqu'à 3 ou 4 générations par an sont possibles pour l'orge).

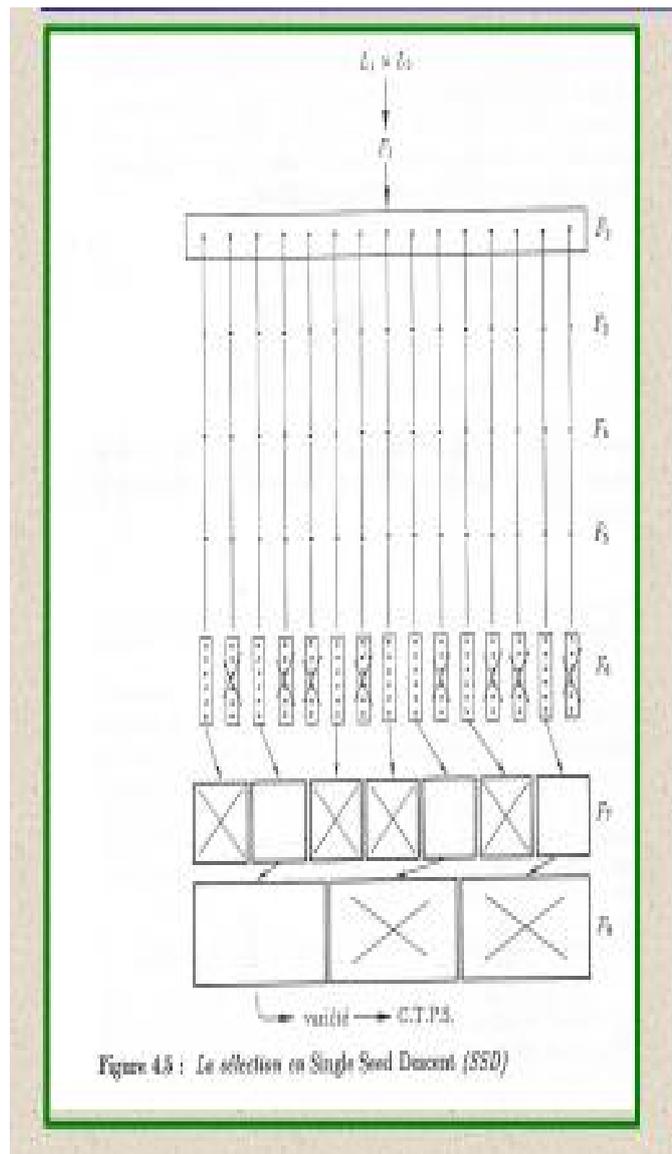


Figure 4 : Sélection SSD (single seed descent)

B. Méthode de Bulk (sélection généalogique différée)

La méthode bulk, appelée aussi sélection généalogique différée car dans cette méthode, la sélection a lieu après fixation des lignées est simple et peu coûteuse. Peu d'efforts sont généralement engagés durant les premières générations. Cependant, la taille de la population doit être assez importante surtout lorsque les plantes sont individualisées durant la sélection. La sélection naturelle est plus active dans le cas de la sélection par cette méthode. Les plantes hautes et les plantes tardives sont généralement favorisées par la méthode Bulk, ce qui peut être en contradiction avec les aspirations du sélectionneur. Cependant, la présence de maladies et d'insectes favorisent la mise en évidence des plantes résistantes, généralement recherchées par

le sélectionneur. Les autofécondations sans sélection sont répétées sur 4 à 5 générations au total, ce qui permet d'obtenir des lignées fixées.

Dans ce schéma, la variation génétique est créée par hybridation artificielle entre des parents choisis.

-F1-F6 : Pas de sélection consciente. Les génotypes les plus adaptés à l'environnement laisseront plus de descendants et prédomineront dans les générations futures.

-ces populations en vrac sont généralement cultivées dans des conditions de stress et de maladies pressions communes.

- la fréquence de l'adaptation l'augmentation des génotypes dans la population.

Les plantes individuelles présentant des caractéristiques souhaitables sont sélectionnées au stade F6. À partir de chaque plante sélectionnée, une rangée de plantes (ou de têtes) est cultivée et le produit des meilleures rangées/rangées est récolté en vrac, pour les premiers essais de rendement. Les essais de rendement plus avancés sont réalisés à partir de la récolte en vrac des populations souhaitées.

Avantages

- La sélection ne commence pas tant que les plantes ne sont pas presque homozygotes. Cela permet d'éviter la difficulté de la sélection parmi les populations en ségrégation où l'expression phénotypique sera grandement affectée par les niveaux de dominance des hétérozygotes.
- Une des méthodes les moins coûteuses pour produire des populations de lignées consanguines.

Inconvénient

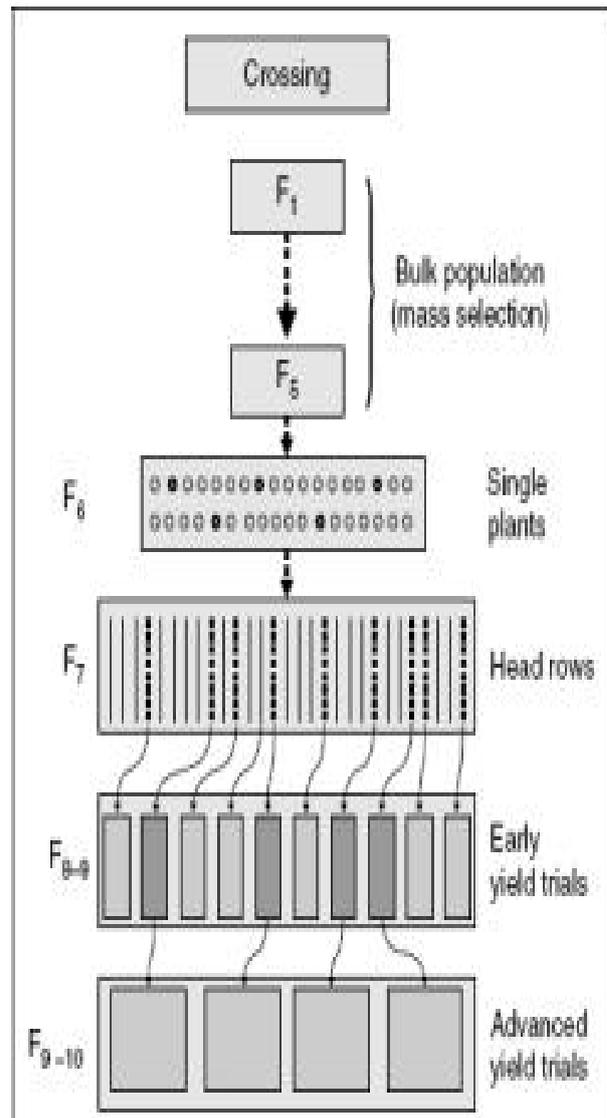


Figure 5 : Sélection par la méthode de Bulk

- Le temps écoulé entre le croisement initial et les essais de rendement.
- Il n'est pas exclu que des plantes potentiellement intéressantes disparaissent naturellement pendant les étapes d'autofécondation sans sélection, ce qui peut introduire un biais dans le processus de sélection.

Toutefois, la philosophie de base est similaire, à savoir produire des lignées quasi homozygotes, puis sélectionner parmi ces lignées consanguines ou inbred.

C. Méthode pedigree (sélection généalogique)

Dans la méthode pedigree, la sélection commence en F₂. Elle permet d'isoler rapidement des caractéristiques désirables dans le cas de caractères à hérédité qualitatives tels que la résistance aux maladies, la couleur de la graine, la précocité, etc. 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. Du fait du haut niveau 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.

-La sélection d'une seule plante est effectuée aux générations F₂ - F₆ : Choix des meilleures plantes dans les meilleures lignes et dans les meilleures familles. Seules les meilleures apparences et les lignées uniformes sont conduites

-Ce processus d'une seule plante/ligne est répété jusqu'à ce que les plantes sont "presque" homozygotes (F₆).

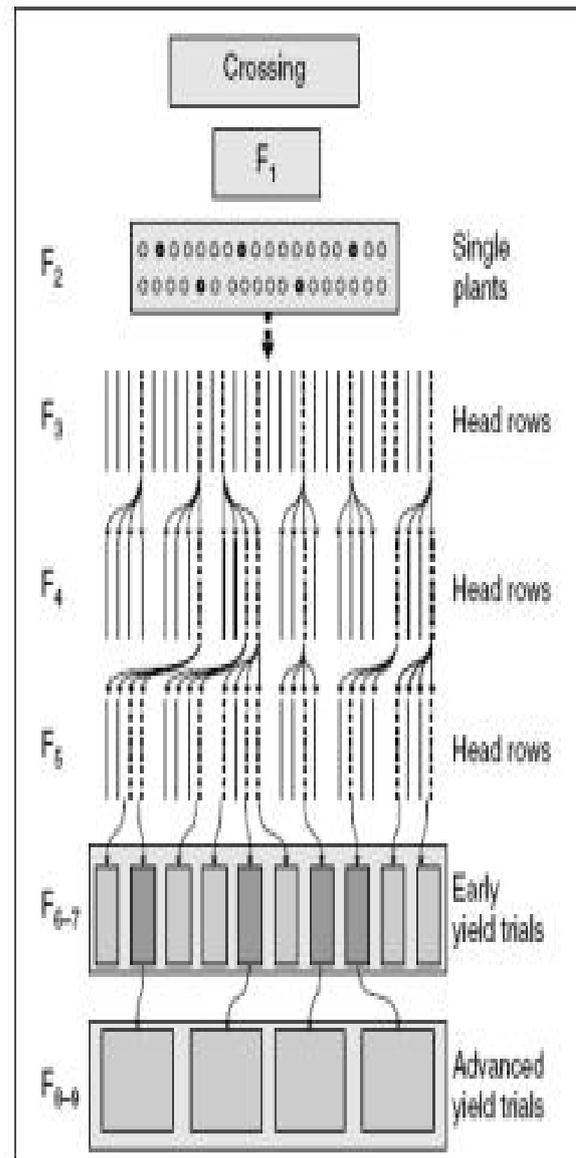


Figure 6 : Sélection par la méthode pedigree

- les lignées les plus productives sont récoltées en bulk (vrac) et utilisés comme semences source pour les premiers essais de rendement à F7.

D. Méthode Bulk/pedigree

Combinaison de la sélection en bulk (vrac) et la sélection de plantes individuelles F2 produit par autofécondation F1 au moyen d'hybridations artificielles.

-Sélections de plantes individuelles parmi les F2 et qui sont cultivés à F3

-F3 sont récoltés en vrac, et des essais au champ préliminaires sont effectués à la F4

- F5 et F6 : semences en vrac + Essais au champ

Les sélections de plantes uniques F6 sont à nouveau réalisées à partir de des lignées presque homozygotes

- F7 ; essais de rendement (au champ) initial du deuxième cycle à la F8 et des essais de rendement plus avancés à F9.

• **Avantage**

Les individus, lignées ou populations supérieures ou inférieures sont identifiés par les essais de la génération précédente.

• **Inconvénients**

Réduction du nombre de lignées les plus consanguines (inbred) qui peuvent être évalués.

NB. Les schémas de bulk /pedigree sont le plus souvent utilisés pour développer des variétés consanguines (inbred).

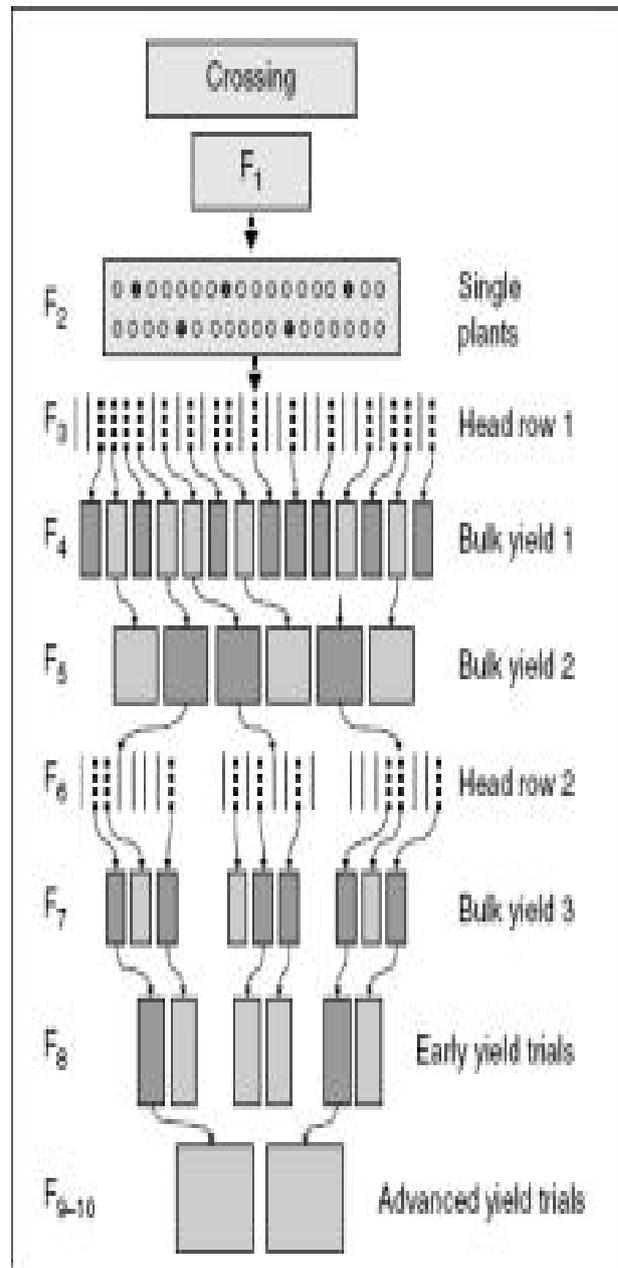


Figure 7 : Sélection par la méthode Bulk/pedigree

E. Méthode du pedigree modifié

- Des essais au champ pour évaluer le rendement conduit simultanément avec la sélection pedigree ;

-Les plantes individuelles sont sélectionnées parmi la F2 dont les semences sont cultivées en tant que rangées de descendants de plants à la F3,

-La graine issue de l'essai de rendement au champs en bulk est utilisée pour planter des essais d'évaluation du rendement en bulk à la F5

-une homozygotie quasi-totale est atteinte dans les étapes restantes.

Avantage

Il tente d'utiliser l'évaluation en bulk de la descendance pour le rendement (au champ) et d'autres caractères quantitativement hérités, tandis que les caractères monogéniques peuvent être dépistés sur une seule plante/une seule ligne

Il permet d'évaluer les caractères quantitatifs tout en effectuant des sélections consanguines.

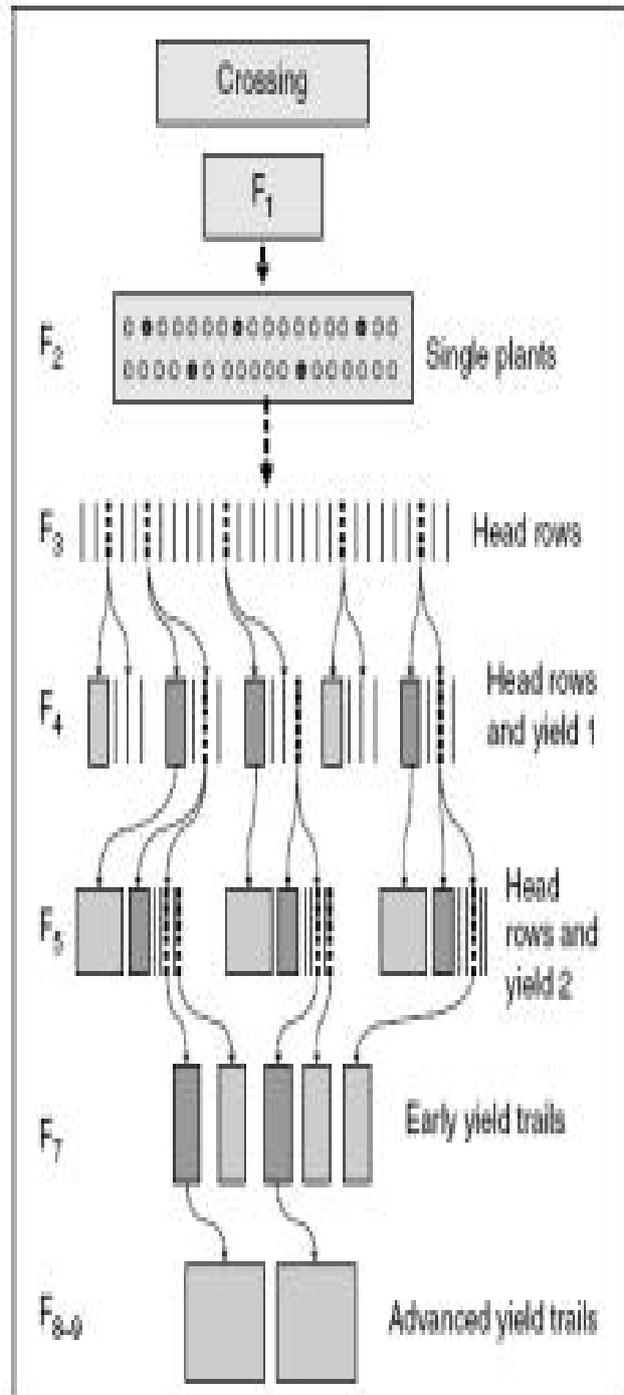


Figure 8 : Sélection par la méthode du pedigree modifié

III.2.2. Sélection des variétés populations

III.2.2.1. Caractéristiques

Le développement de variétés population (allogame) est un processus qui modifie la fréquence des gènes des allèles désirables au sein d'une population de génotypes mixtes tout en essayant de maintenir un degré élevé d'hétérozygotie.

Ce sont donc réellement les propriétés de la population qui doivent être considérés et non les génotypes individuels (comme dans les cultures autogames).

Au lieu de finir la sélection avec une variété à homologuer représentée par un génotype uniforme (cas des variétés lignées pures), la population sera un mélange complexe de génotypes, qui ensemble donnent les performances souhaitées.

Il n'est pas considéré comme souhaitable (et souvent très difficile) de développer des lignées ou des cultivars homozygotes ou quasi homozygotes à partir de ces espèces allogames, car elles souffrent d'une grave dépression consanguine (inbreeding), et sont porteuses d'allèles récessifs délétères ou ont des systèmes d'auto-incompatibilité développés ou partiels.

III.2.2.2. Schéma (s) de sélection

A. Sélection massale

Une nouvelle population est créée par pollinisation croisée de deux populations différentes existantes à fécondation libre. Dans ce cas, un ensemble représentatif d'individus (échantillon raisonnable) de chaque population sera prélevé pour être croisé,

Le pollen est collecté en vrac et utilisé pour polliniser des plantes femelles spécifiquement sélectionnées. Dans de nombreux cas, les sélectionneurs autorisent les croisements aléatoires ou la pollinisation croisée ouverte.

Les graines qui résultent de ces croisements sont cultivées en plein champ pendant plusieurs saisons.

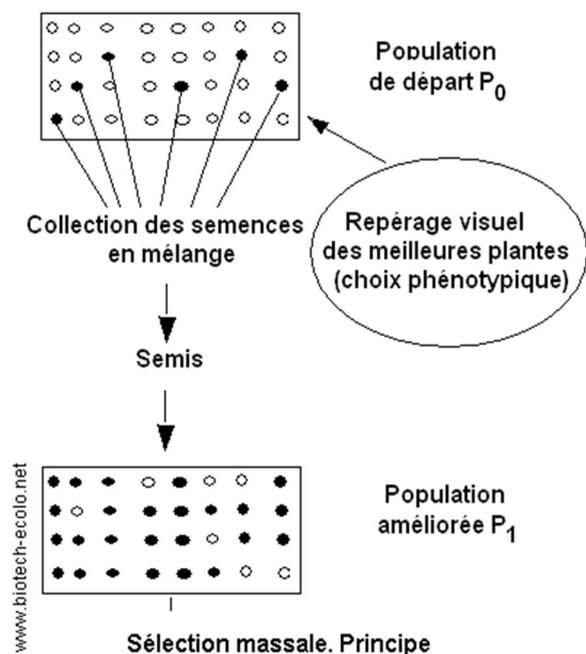


Figure 9: Sélection massale

Les génotypes, qui sont adaptés aux conditions, prédominent et sont plus productifs. Le croisement est essentiellement aléatoire et aboutit à une population qui se rapproche de l'équilibre.

Il est possible de créer un stress lié à la maladie en inoculant artificiellement des plantes sensibles à l'agent pathogène pour qu'elles servent de propagateurs, ou en cultivant des lignées très sensibles à proximité des populations en Bulk.

Toutefois, les inconvénients de cette méthode se résument en :

- Le manque de contrôle des conditions environnementales ;
- Le processus est empirique et souvent sujet à des perturbations inattendues ;
- Il faut prendre soin d'isoler la population en développement des autres cultures de cette espèce, qui pourraient se trouver à distance de pollinisation.

B. Sélection phénotypique récurrente

La pollinisation croisée entre deux (ou plusieurs) populations pour créer ce que l'on appelle la population de base.

- Un grand nombre de plantes sont cultivées à partir de la population de base un sous-échantillon des phénotypes les plus désirables est identifié et récolté en tant que plantes individuelles qui seront ensuite

Ces plantes sélectionnées sont ensuite croisées au hasard pour produire une nouvelle population améliorée.

Ce processus est répété un certain nombre de fois "récurrent".

Le nombre de cycles effectués sera déterminé par :

- Le niveau d'amélioration souhaité par rapport à la population de base,
- La fréquence initiale des gènes de la population de base et l'héritabilité des traits d'intérêt dans le processus de sélection.

Cette méthode est efficace lorsque l'héritabilité des caractères sélectionnés est élevée (par exemple, certaines résistances aux maladies et aux parasites) et n'est pas aussi efficace lorsque les caractères ont une héritabilité plus faible, comme le rendement.



Figure 10: Sélection phénotypique récurrente

Il est courant de conserver un échantillon de la population de base afin de pouvoir évaluer les modifications génétiques dues à la sélection au cours d'une saison ultérieure.

III. 2.3. Sélection des variétés Hybrides

III.2.3.1. Caractéristiques

Si des cultivars hybrides doivent être développés à partir d'une culture, alors l'espèce doit :

- Présenter un degré élevé de vigueur hybride ou d'hétérosis ;
- Pouvoir être manipulée de manière à produire des semences hybrides peu coûteuses ;
- Ne sont pas faciles à produire de manière uniforme et bénéficient d'une l'uniformité élevée des cultures.

Les trois grandes étapes de la production d'hybrides sont:

- Le développement de lignées consanguines (inbred) à utiliser comme parents ;
- Test de croisement de ces lignées pour identifier celles qui se combinent bien ;
- Exploiter les meilleurs croisements individuels en tant que variétés hybrides.

III.2.3.2. Schéma de sélection

- Produire deux, ou plus, populations descendantes
- Développer les lignées inbreds (parents)
- Évaluer phénotypiquement les performances des lignées consanguines (inbreds)
- Évaluer la capacité générale à la combinaison des lignées inbreds sélectionnées ;
- Évaluer les combinaisons hybrides croisées
- Augmentation du nombre des lignées parentales consanguines (production de semences)

L'objectif est de maintenir une grande vigueur des plantes et de faire en sorte que les lignées consanguines soient aussi productives que possible. Cela n'est pas toujours facile, en particulier chez les espèces où il y a une fréquence élevée d'allèles récessifs délétères présents dans les populations inbreds.

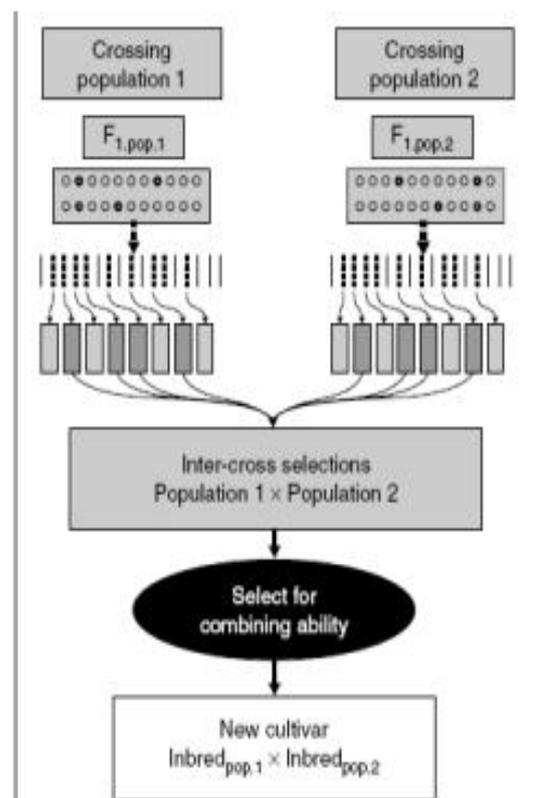


Figure 11: Sélection des variétés Hybrides

Les sélectionneurs doivent décider du niveau d'homozygotie requis. D'une part, plus les lignées consanguines sont homozygotes (l'extrême étant bien sûr l'homozygotie à 100 %), plus l'hybride qui en résulte sera uniforme. Les "lignées consanguines, inbreds" plus elles étaient hétérozygotes plus productives elles seraient en tant que parents et donc contribuer à réduire le coût de production des semences hybrides.

-La capacité de combinaison (ou, plus précisément, la capacité générale de combinaison, (AGC) est évaluée dans le but d'identifier les lignées parentales qui produiront une descendance productive dans un large éventail de croisements hybrides. En général, il n'est pas possible de croiser toutes les lignées parentales possibles dans des combinaisons par paires, car le nombre de croisements à effectuer et à évaluer augmente de manière exponentielle avec l'augmentation du nombre de parents.

Dans ce cas, la solution qui se présente serait l'utilisation d'un parent ou un testeur commun, la capacité générale de combinaison est déterminée en comparant les performances de chaque progéniture, en supposant que la seule différence entre les différentes progénitures peut être attribuée aux différents parents consanguins. Les testeurs sont généralement des lignées consanguines très développées, qui ont fait leurs preuves dans des combinaisons hybrides par le passé.

III.2.4. Variétés clonales

III.2.4.1. Caractéristiques

Les variétés clonales sont des espèces de plantes pérennes, bien que quelques cultures propagées par clonage (par exemple la pomme de terre) soient cultivées comme des cultures annuelles. Certaines ont très longue durée de vie (par exemple, le palmier dattier) ou, autres, ont une durée de vie plus courte tout en restant en production commerciale pendant plusieurs années après avoir été propagés (par exemple, canne à sucre, bananes...)

En général, les espèces clonales sont des allogames, qui ne tolèrent pas la consanguinité (inbreeding). Le clone est très hétérozygote ce qui rend facile d'exploiter la présence de toute hétérosis qui se manifeste.

Les étapes de sélection se résument comme suit :

- Produire des descendants issus de semis après une ségrégation des caractères ;
- Sélectionner la ou les combinaison (s) génotypique (s) la ou les plus productive (s) ;
- Multiplier simplement de manière asexuée (voie végétative), ce qui permet de stabiliser également les géotypes sélectionnés (sans ségrégation due à la méiose).

III.2.4.2. Schéma de sélection

Exemple : sélection de la pomme de terre

Chaque année, entre 250 et 300 croisements sont réalisés entre des parents choisis.

De chaque combinaison croisée = 500 graines, conduisant à environ 140 000 semis en pots cultivés dans une serre (deux saisons de serre pour avoir 140 000 au total)

A la récolte, les tubercules produits par chaque plant sont placés dans des pots vides. À ce stade, le sélectionneur procéderait à une inspection (contrôle) visuelle des petits tubercules dans chaque pot (chaque plant étant un génotype unique) qu'il va sélectionner ou rejeter.

La génération des semis, est la seule et unique qui découle directement de semences botaniques (issues de la reproduction sexuée).

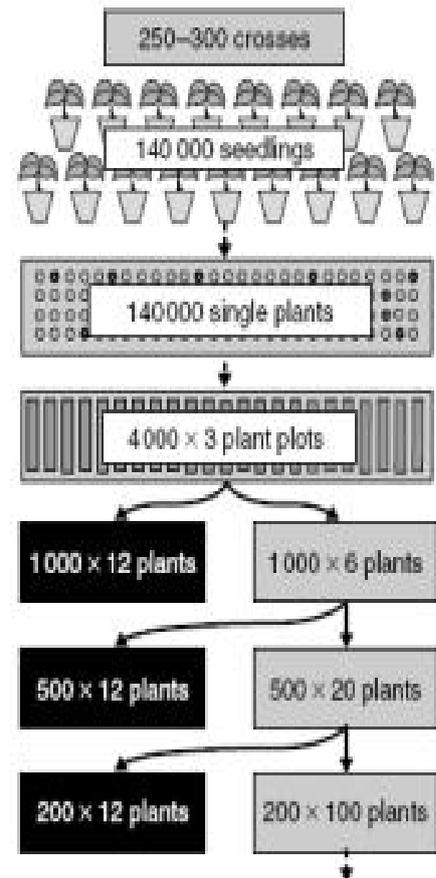


Figure 12: Sélection des variétés
Clonales

Toutes les autres générations sont obtenues par reproduction végétative (clonale) (tubercules).

L'année suivante, les tubercules sélectionnés (140 000) sont plantés dans le champ sur le "site de semence" sous forme de plantes isolées dans des blocs de descendance (**stade = première année clonale**). Chaque plante est récoltée à la main et les tubercules de chaque génotype sont exposés à la surface du sol. Un sélectionneur inspectait alors visuellement le produit de chaque plante et décidait, sur cette base, de rejeter ou de sélectionner chaque groupe de tubercules (chaque clone).

Trois tubercules sont retenus des plantes "les plus désirables" et plantés sur le terrain au même endroit au cours de la deuxième année clonale (**stade = deuxième année clonale**).

Les parcelles de la deuxième année clonale ont été récoltées mécaniquement et, là encore, les tubercules de chaque clone ont été sélectionnés ou rejetés par l'obteneur (le sélectionneur) sur la base d'une inspection visuelle. Les tubercules des clones sélectionnés ont été conservés et cultivés l'année suivante pour la première fois dans des "conditions de culture en entrepôt" au

stade de **la troisième année clonale**. Chaque sélection a également été cultivée sur une parcelle de six plantes sur le site de semence.

Après la deuxième année clonale, le site de semis n'a été utilisé que pour augmenter les tubercules clonaux et aucune sélection n'a été effectuée sur la base des performances de ce site.

La troisième année clonale est la première où la sélection a été basée sur des mesures objectives, principalement le rendement, mais aussi d'autres caractéristiques de performance et la réaction aux maladies.

Les quatrièmes et cinquièmes générations de clones sont des répétitions de la troisième année avec un nombre réduit de plantes après chaque tour de sélection successif, mais avec plus de répétitions et de plus grandes parcelles de multiplication de 20 plantes et 100 plantes, respectivement, sur le site de semence.

Au cours des sixième, septième et huitième générations clonales, les clones sélectionnés sont évalués à plusieurs endroits différents ("essais régionaux"). Après chaque série d'essais avancés, les clones les plus désirables sont choisis et les moins intéressants écartés.

III.2.5. Sélection des variétés synthétiques

III.2.5.1. Caractéristiques

Une variété synthétique doit être reconstituée à partir de lignées parentales, populations ou de clones.

Une variété synthétique est une population artificielle résultant de la reproduction en plusieurs générations de panmixie (pollinisation libre) d'un nombre limité de lignées, généralement non pures (non homozygotes), choisies pour leurs qualités agronomiques propres et leur aptitude à la combinaison.

La création des variétés synthétiques est généralement envisagée lorsque :

- L'espèce ne se prête pas à la production d'hybrides contrôlés :
 - Soit que la castration n'est pas possible ;
 - Soit que le système d'incompatibilité pollinique n'est complet ;
 - Soit que l'on ne dispose pas de système de stérilité mâle.
- La création de lignées homozygotes est difficile ou très longue (autofécondation difficile-espèce polyploïde) ;
- Le coût est relativement faible par rapport aux variétés hybrides ;

- Le niveau technologique de l'agriculteur, surtout dans les pays à agriculture moins développée, où les agriculteurs tendent à produire leurs propres semences pour plusieurs saisons.

La méthode de sélection utilisée pour le développement des cultivars synthétiques dépend de la capacité à développer des lignées homozygotes à partir d'une espèce ou à multiplier les lignées parentales par clonage. Dans le cas du maïs, par exemple, les cultivars synthétiques sont développés selon un processus en trois étapes :

- Développer un certain nombre de lignées consanguines ou inbreds ;
- Les test de descendance teste les lignées consanguines pour la capacité générale de combinaison ;
- Identifier les "meilleurs" parents et les croiser pour produire la variété synthétique.

III.2.5.2. Schéma de sélection

Des sélections clonales peuvent être ajoutées à la pépinière

Tout en continuant la sélection phénotypique récurrente sur la population de base à tester ou par sélections des plants produits par croisement (pollinisations croisées). Pour ce dernier cas, la création éventuelle de lignées partiellement homozygotes par quelques générations d'autofécondation

(1 à 3) d'autofécondation pour permettre une amélioration et une homogénéisation du matériel végétal (fixation de caractères favorables et élimination de caractères défavorables).

L'évaluation clonale est effectuée à travers la réalisation d'essais aux champs des plants reproduits végétativement. L'objectif de test clonal consiste à identifier quelles sont les populations clonales les plus adaptées phénotypiquement aux

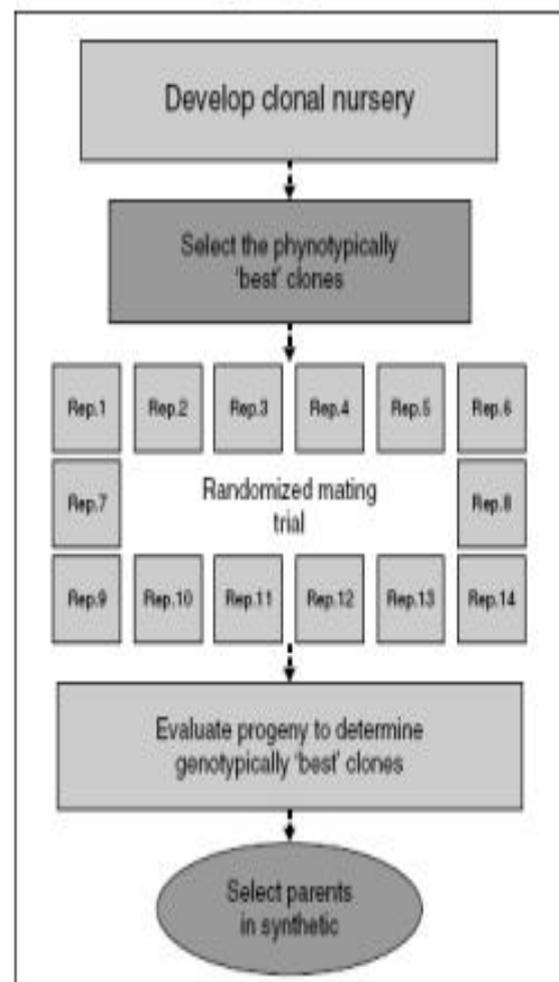


Figure 13: Sélection des variétés Synthétiques

environnements dans lesquels elles ont été cultivés. Les essais clonaux sont souvent installés dans deux ou plusieurs endroits pour avoir une évaluation de la stabilité de l'environnement.

La sélection des meilleurs parents sur leur valeur propre, et leur aptitude à la combinaisons hybrides par des tests d'aptitude à la combinaison :

- Croisement par testeurs communs (top-cross)
- Croisement des parents en tous sens (poly cross)
- Croisement des parent 2 à 2 (diallèle)

En utilisant le polycross, on testera ensuite génétiquement les "meilleurs" clones identifiés pour déterminer la capacité générale de combinaison de chaque lignée clonale dans des combinaisons croisées avec d'autres génotypes dans le groupe de clones sélectionnés.

Le nombre de lignées utilisées (qui peut être influencé par le degré de consanguinité de ces lignées) est généralement compris 4 et 8 (maximum 10)

De nombreux parents sont utilisés dans une variété synthétique pour produire des semences Syn.1 en utilisant une procédure de polycross. Les semences de Syn.1 sont pollinisées en plein air pour produire du Syn.2, qui est ensuite pollinisé en plein air pour donner la population de Syn.3, etc. La multiplication du produit du polycross initial et production de semences commerciales par un nombre limité de générations (entre 2 à 4) (Syn 0 Syn 1 Syn 2...). Ce nombre de générations de multiplication est fixe pour une variété déterminée.

Le matériel de départ pour la variété synthétique durant toute sa « carrière commerciale » étant le polycross (croisement multilignées) initial, réalisé à partir de lignées instables (imparfaitement homozygotes).

III.2.6. Sélection des variétés multilignées

III.2.6.1. Caractéristiques

Les variétés multilignées sont des mélanges de plusieurs lignées semblables pour la majorité de leurs caractères agronomiques. Des lignées isogéniques peuvent dériver d'une même variété dans laquelle différents allèles de résistance à une maladie ont été introduits par backcross. Les multilignées ont été proposées comme un moyen de minimiser les pertes de rendement ou de qualité dues aux maladies ou aux parasites.

Il est moins probable que toutes les plantes du mélange (chacune ayant un gène de résistance à une maladie ou un mécanisme de résistance spécifique) soient touchées aussi gravement, sur

une période de plusieurs années, qu'une variété homozygote. Leur utilisation permettrait d'obtenir des mécanismes plus durables de résistance aux maladies dans les cultures.

Il est à noter aussi que ces variétés multilignées sont plus stables dans une des environnements différents que les variétés lignées pures, en raison de la nature hétérogène du mélange où certaines lignées se comportent bien certaines années ou dans certains endroits, tandis que d'autres sont plus performantes dans des conditions et années différentes.

Lors de la production de semences à partir de variétés multilignées, les lignées pures individuelles formant le mélange dans les proportions recherchées sont augmentées indépendamment par les maladies rencontrées, la rentabilité ou d'autres facteurs qui détermineront la proportion des lignées dans le mélange. Il est important, lors du calcul des proportions d'un mélange de variétés multilignées, de prendre en compte la taille des semences (si le mélange est effectué au poids) et également le potentiel de germination de chaque lignée (qui peut être différent pour les différentes lignées).

Certaines variétés multilignées sont des mélanges de lignées isogéniques (ou quasi isogéniques) qui diffèrent pour un seul gène (conférant généralement une résistance à une certaine souche d'un agent pathogène). La méthode la plus courante utilisée pour développer des lignées isogéniques (lignées qui ne diffèrent dans leur génotype que par des gènes spécifiques) en sélection végétale est le rétrocroisement.

III.2.6.2. Backcross (rétrocroisement)

Le Backcross également appelé rétrocroisement ou croisement en retour est une forme d'hybridation durant laquelle une caractéristique désirable est transférée à une variété productive. Généralement, le Backcross est utilisé lorsqu'une variété possédant des caractéristiques désirables présente une faiblesse (sensibilité à une maladie donnée par exemple) qui peut être corrigée par l'introduction d'un ou de quelques gènes.

A. Principe : le rétrocroisement est une technique couramment utilisée dans le développement de variétés lignée pure utilisé dans la sélection des plantes pour transférer une petite partie précieuse (généralement un seul gène) du génome d'un génotype sauvage ou inadapté "parent non récurrent ; parent donneur" dans le génotype d'une variété adaptée et déjà améliorée de bonne valeur agronomique "parent récurrent ; parent receveur".

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

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. Le nombre de générations du Backcross (BCs) dépendra de degré de ressemblance que le sélectionneur souhaite au parent récurrent ou des performances des génotypes rétrocroisés.

La proportion du génotype parental récurrent dans chaque série de rétrocroisement augmentera avec l'augmentation des rétrocroisements, et peut être calculé par la formule :

$$1 - (1/2)^g$$

Où g = le nombre de générations de backcross, y compris le croisement initial ($P1 \times P2$) pour produire le F1.

B. Schéma de sélection

Les graines du "backcross" sont des génotypes Rr ou rr, qui peuvent faire l'objet d'une sélection pour identifier les lignées sensibles à la maladie (rr). Les plantes possédant le génotype Rr qui sont résistantes vont ensuite être croisées à nouveau au parent récurrent rr, pour produire BC2. Ce processus de sélection (screening ; tri) de la présence de l'hétérozygote et de les croiser à nouveau avec le parent récurrent (rr) est répété un nombre de fois dans le but de restituer (récupérer) son génotype et ainsi développer une lignée qui est composé de tous les gènes du parent récurrent (A), sauf celui responsable de la présence de résistance" qui aura l'allèle de résistance (R).

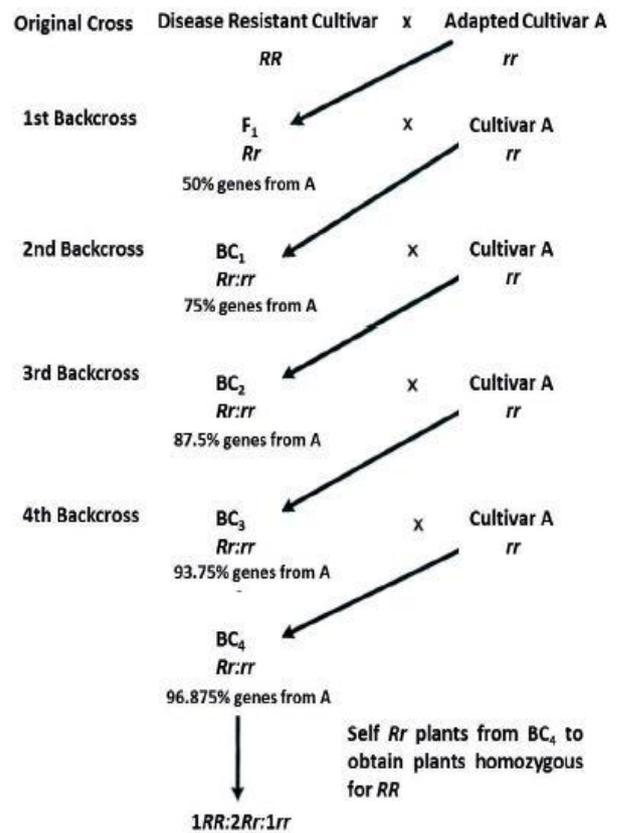


Figure 14: Backcross ; Sélection des variétés multilignées

CHAPITRE IV : PLANS DE CROISEMENT

IV. 1. Généralités

Le choix d'une méthode de sélection ne dépend pas seulement des seules considérations génétiques et biologiques de l'espèce concernée. Il dépend aussi de son importance économique et de l'évolution de son utilisation. Les choix méthodologiques présidant à l'établissement d'un programme de sélection se font au moins vingt ans avant la mise sur le marché de graines améliorées. Ces considérations incitent généralement à la prudence et surtout à la souplesse. Il faut réserver un champ de choix méthodologiques dans tout programme d'amélioration, de manière à toujours pouvoir modifier l'évolution du programme selon les contingences extérieures tout en tirant profit de ce qui vient d'être accompli. À l'inverse, la répétition des mêmes opérations au cours des cycles successifs de sélection requiert une certaine continuité dans les décisions. Souplesse d'une part, continuité de l'autre, peuvent être conciliées par des décisions appropriées dès le début du programme d'amélioration. La première concerne la taille de la population de départ : un effectif important et une faible intensité de sélection dans les populations d'amélioration ultérieures permettent de s'adapter à la prise en compte de nouveaux objectifs de sélection. La seconde consiste à subdiviser, dès que la nécessité s'en ressent, la population d'amélioration en plusieurs populations dans lesquelles la sélection récurrente peut être effectuée de manière indépendante. Elle s'adapte aussi à la prise en compte de nouveaux objectifs de sélection et à la régionalisation des programmes de sélection dans le cas d'une forte instabilité des génotypes sur les différentes zones écologiques de l'aire d'utilisation de l'espèce.

Dans la stratégie du sélectionneur des plantes, les plans de croisements doivent remplir différents objectifs en fonction du type variétal désiré. Ils visent globalement à créer de la variabilité génétique en recombinant les génotypes considérés comme favorables et à mieux connaître le matériel génétique travaillé. La création de variabilité peut s'appuyer sur des croisements simples comme chez le cotonnier alors que les études de génétique quantitative sont basées sur des croisements diallèles dont on étudie la F1 et les parents. Toutefois, l'objectif essentiel de ces différentes méthodes est d'évaluer la valeur d'un individu au croisement en se basant sur ses aptitudes à la combinaison générale et/ou spécifique selon le cas.

IV.2. Principaux plans de croisement en sélection des plantes cultivées

IV.2.1. Pollinisation libre

Il s'agit d'une pollinisation naturelle sans l'intervention expérimentale de l'homme pour diriger les croisements. Ainsi, aucun contrôle de l'appariement est effectué.

Cette technique très simple est destinée exclusivement aux plantes allogames dont les structures génétiques se fécondent librement puis leur descendance est comparée. Dans ce cas, les structures génétiques sont représentées par un seul individu (plante mère) dont on récolte les grains qui seront mis en culture dans des essais comparatifs.

Ce test permet de comparer les AGC (aptitude générale à la combinaison) mais il reste faible et la comparaison entre A, B et C n'est pas fiable.

Descendance	Descendance	Descendance
A ;	B ;	C ;
I I I I I	I I I I I	I I I I I
Moy	Moy	Moy
\bar{X}_A	\bar{X}_B	\bar{X}_C
AGC _A	AGC _B	AGC _C

Figure 15: Pollinisation libre

La meilleure valeur obtenue renseignera sur le meilleur géniteur.

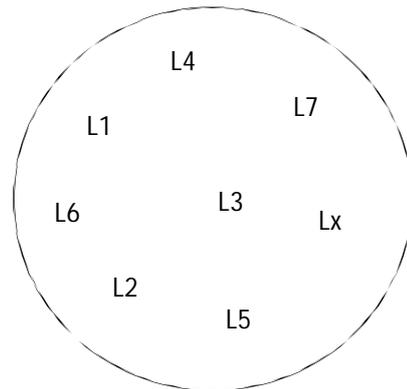
IV.2.2. Polycross

C'est un croisement libre entre n structures génétiques dont on souhaite comparer les AGCs. Le testeur est la population polynique à tester. Un groupe de plantes femelles est pollinisé par un mélange de pollen récolté sur un groupe déterminé de mâles. Comparé à la pollinisation libre, ce dispositif est bien meilleur car il permet l'estimation, en plus de l'AGC, l'héritabilité malgré la non maîtrise de l'apparement.

Il s'agit d'un croisement des parents en tous sens (poly cross). Un polycross (test) utilise un certain nombre de parents différents. Les descendants issus de graine à évaluer résultent d'un croisement entre les variétés qui sont testées (c'est-à-dire que chaque variété évaluée est utilisée comme femelle et croisée au hasard à toutes les autres variétés sélectionnées ou à une bonne gamme de celles-ci). Le nombre de parents utilisés est généralement compris 4 et 8 (maximum 10)

Un polycross (test) n'utilise pas un parent commun testeur mais plutôt un certain nombre de parents différents. Il diffère donc d'un test cross car les descendants issus de graine à évaluer résultent d'un croisement entre les clones qui sont testés (c'est-à-dire que chaque clone évalué est utilisé comme femelle et croisé au hasard à toutes les autres sélections clonales ou à une bonne gamme de celles-ci).

Un polycross, comme le test cross, est utilisé pour déterminer la capacité générale de combinaison des différents clones. La graine ainsi produite à partir d'un polycross est ensuite testée lors d'essais randomisés sur le terrain. Il est essentiel que les essais soient randomisés et que le niveau de réplication soit suffisamment élevé pour permettre la possibilité que les semences hybrides proviennent du plus grand nombre de clones que possible.



Les lignées à tester sont regroupées et on laisse l'allo-fécondation se faire. L testeur = ensemble des lignées sélectionnées.

Figure 16: Test Polycross ; principe

Diagrammes polycross (Angevain)

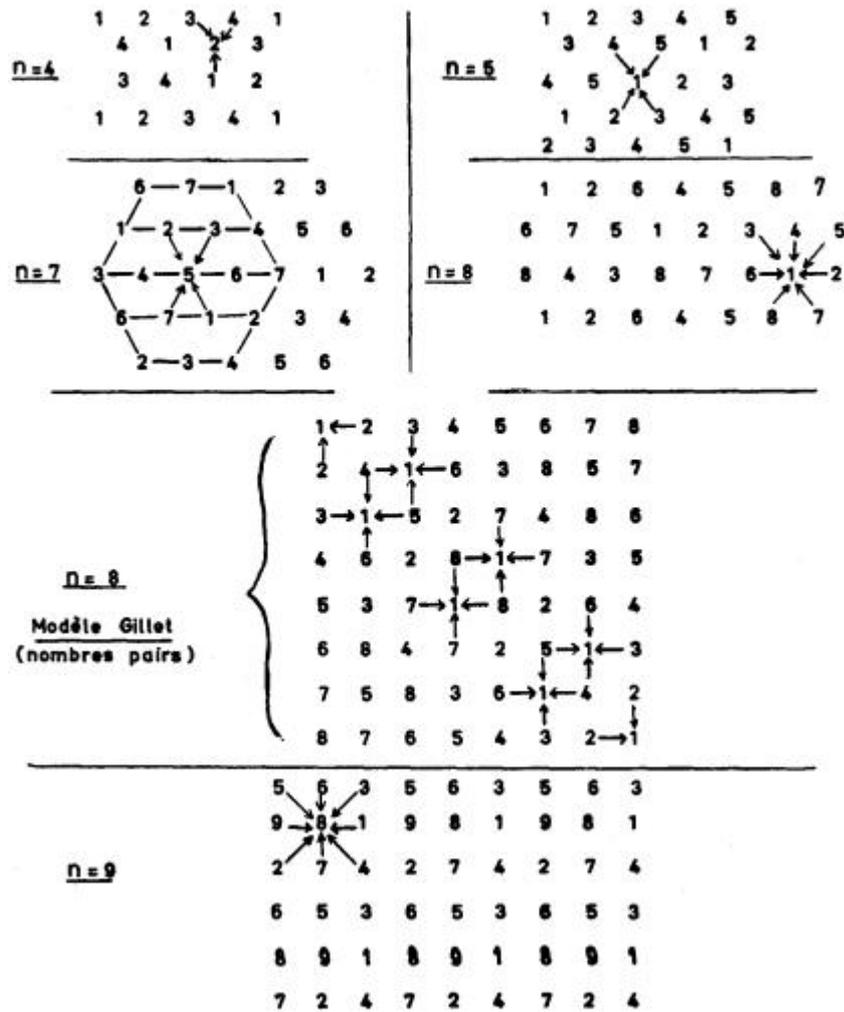


Figure 17: Test Polycross ;
exemples

IV.2.3. Test cross ou Top cross

Le top cross consiste à croiser un groupe de géniteurs avec un testeur (ou plusieurs testeurs). Non seulement il permet de créer de la variabilité, mais aussi d'évaluer les génotypes parentaux pour leur aptitude à la combinaison avec ce (s) testeur (s). D'ordinaire, il trouve son application dans les programmes destinés à déceler les combinaisons hétérotiques à la recherche d'hétérosis. Il a été utilisé à cette fin lors des premières recherches consacrées aux hybrides de cotonnier.

Le top cross est un outil de diversification et d'évaluation génétique. Quand le testeur a une base génétique étroite, le top cross ne sert qu'à estimer des aptitudes spécifiques en combinaison. Il n'offre donc pas grand intérêt pour la création de structures variétales à dominante homozygote, comme c'est le cas chez le cotonnier.

Par contre, avec un testeur ayant une base génétique plus large, le top cross répond mieux aux attentes du sélectionneur de variétés lignées pures, puisqu'il permet de détecter les parents qui présentent de bonnes aptitudes générales en combinaison.

Le top cross permet une estimation satisfaisante de l'aptitude générale à la combinaison des génotypes testés. En général, les estimations des effets génétiques sont moins précises qu'avec un dispositif diallèle. D'autre part, le nombre de géniteurs mis à contribution est supérieur, surtout lorsque la dimension du diallèle augmente.

Les évaluations des test cross sont plus utiles lorsque la variation observée au sein des différentes descendances est le résultat de différences entre les génotypes évalués et non pas seulement d'un petit échantillon de gènes provenant du parent testé.

Si un test cross est utilisé, tous les génotypes sélectionnés sont hybridés à un (ou plusieurs) parent (s) test. Le parent test aura été choisi parce qu'il s'agit d'une variété améliorée ou il peut être choisi sur la base de l'expérience de l'obteneur, ce testeur permettra d'évaluer la capacité moyenne de chaque génotype à produire une descendance supérieure lorsqu'il est combiné avec des allèles provenant de nombreux individus différents. Ainsi, le top cross génère de nombreux croisements, tous efficaces. Il améliore le choix des géniteurs en tenant compte de leur aptitude générale à la combinaison. Il permet de comparer les résultats d'un lieu un autre pour les caractéristiques en faible interaction avec le milieu.

Habituellement on utilise les lignées comme femelles et le testeur comme mâles (4 ou 5 plantes femelles pour 1 mâles). Si on utilise le testeur comme femelle, on recommande de

prendre 10 plantes femelles pour 1 inbred, afin de conserver une variabilité suffisante du testeur.

L'efficacité du dispositif dépend du choix du testeur qui doit remplir les conditions suivantes :

- Etre composé de géniteurs reconnus et non (ou peu) apparentés, par exemple des variétés exhaustivement testées ou cultivées ;
- Etre systématiquement utilisé par tous les sélectionneurs;
- Selon la théorie, être le plus récessif possible afin de mieux révéler les géniteurs qui lui sont combinés.

Test Top-cross	
L	L testeur Parent Mâle Stérile
L1	
L2	
L3	
L4	
L5	
L6	
...	
Lx	

Figure 18: Test Topcross

IV.2.4. Dispositif hiérarchique

Lorsque le nombre des structures génétiques est important, on croise, à un premier niveau, chaque structure génétique (pères) à d'autres différentes (mères). Ce test permet l'estimation de l'AGC des pères et non celles des mères, il peut donner une idée sur l'ASC des pères et permet également de calculer l'h². Il s'agit donc de séquences d'hybridation. Ce dispositif permet de tester un nombre important de parents avec un nombre de partenaires relativement faible.

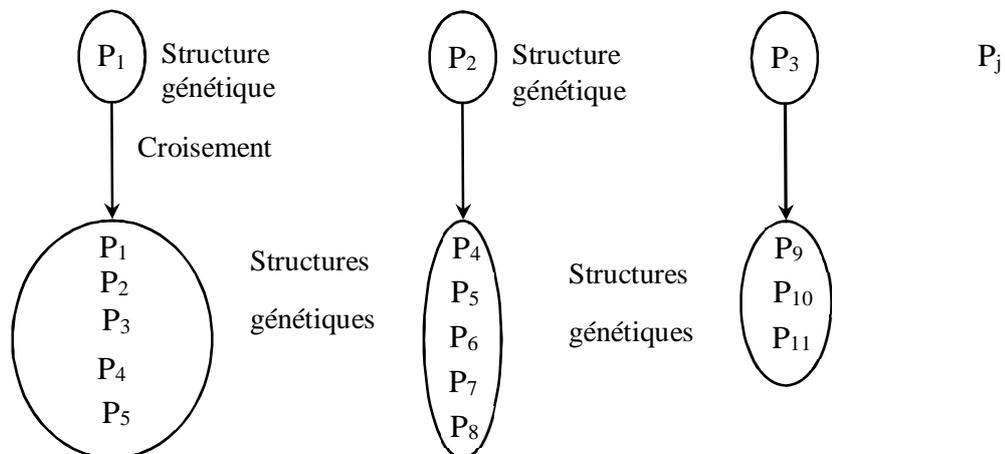


Figure 19: Dispositif hiérarchique

IV.2.5. Dispositif factoriel

Les individus d'une population sont répartis en mâles et femelles, les mâles sont ensuite croisés avec toutes les femelles selon un plan factoriel (toutes les possibilités). Tous les paramètres génétiques peuvent être estimés. Ce dispositif permet l'obtention de familles apparentées demi-frères.

Mâles Femelles	1	2	3	4	5
6	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*

* : croisements réalisés

Tableau 4 : Dispositif factoriel

IV.2.6. Dispositif biparental

Ce dispositif permet surtout la création d'une large variabilité sans apparentement. Chaque parent est croisé une et une seule fois à un parent de la population de sorte qu'il devient possible de produire un maximum de familles non apparentées.

Mâles Femelles	1	2	3	4	5
6	*				
7		*			
8			*		
9				*	
10					*

* : croisements réalisés

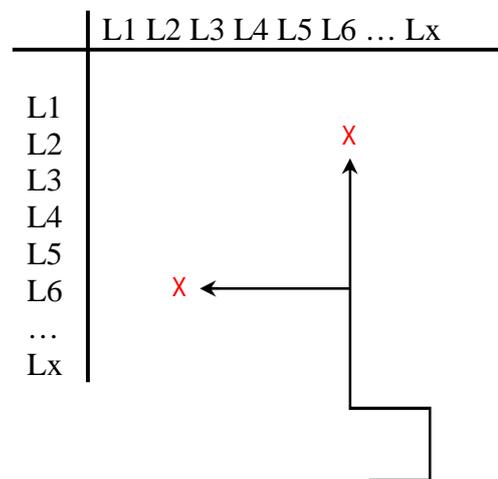
Tableau 5 : Dispositif biparental

IV.2.7. Dispositif diallèle

Un dispositif couramment utilisé est le diallèle, qui consiste en un plan de croisement factoriel entre n populations utilisées comme mâles et comme femelles. Les croisements réciproques permettent l'estimation des effets maternels. Classiquement, ces plans sont interprétés selon des paramètres qui sont les AGC (Aptitudes Générales à la Combinaison), les ASC (Aptitudes Spécifiques à la Combinaison), les effets maternels et les effets de réciprocité spécifique. L'AGC d'une population est la valeur moyenne de sa descendance obtenue en croisement avec toutes les autres populations du dispositif diallèle. L'ASC d'un croisement particulier est l'écart entre la valeur de ce croisement et la somme des AGC de ses parents. Les effets de réciprocité spécifique s'interprètent comme des interactions entre AGC et effets maternels.

Il apporte des informations certaines sur le mode d'action des gènes et permet de définir les notions d'AGC et d'ASC. L'AGC est définie comme la performance moyenne d'une lignée ou d'une plante en combinaison avec l'ensemble des autres lignées ou plantes. L'ASC est définie comme la performance particulière d'un croisement inférieur ou supérieur à la performance moyenne attendue sur la base de l'AGC. On distingue deux modèles dans l'analyse diallèle :

- Modèle fixe ou déterministe : les génotypes sont choisis et étudiés pour eux-mêmes; les conclusions qu'on peut tirer ne concernent que ces génotypes et ne peuvent être étendues à la population de laquelle ces génotypes sont tirés ;
- Modèle aléatoire: les génotypes constituent un échantillon au hasard tiré d'une population. Les effets génotypiques sont des variables aléatoires. On ne peut qu'obtenir des estimations des paramètres caractérisant la structure génétique de la population considérée. Les informations tirées de l'analyse peuvent être étendues à la population de laquelle ces génotypes sont tirés.



Moyenne AGC Pris 2 à 2 ASC (Aptitude spécifique à la combinaison)

Figure 20: Dispositif diallèle

Tous ces deux modèles reposent sur l'analyse de variance. Une table diallèle comprend les mêmes "unités de croisements" ou parents (familles, variétés, lignées, plantes, clones) dans les deux entrées. Si on a par exemple p parent, on devra avoir : p^2 croisements au total : ensemble du tableau p autofécondations: diagonale du tableau $p^2 - P$ croisements dit réciproques: ensemble du tableau moins la diagonale.

$p(p - 1)/ 2$: croisements réciproques: moitié du tableau sous la diagonale. Les individus d'une entrée sont considérés comme parents femelles tandis que ceux de l'autre sont pris comme mâles.

$p(p + 1)/ 2$: croisements réciproques: moitié du tableau sous la diagonale plus les autofécondation :

On peut tenir compte ou pas de l'ensemble des croisements dans l'analyse de la variance suivant les objectifs de l'essai et les hypothèses qu'on s'est données.

Exemple : diallèle complet avec $p=6$

Mâles Femelles	1	2	3	4	5	6
1	1*1	1*2	1*3	1*4	1*5	1*6
2	2*1	2*2	2*3	2*4	2*5	2*6
3	3*1	3*2	3*3	3*4	3*5	3*6
4	4*1	4*2	4*3	4*4	4*5	4*6
5	5*1	5*2	5*3	5*4	5*5	5*6
6	6*1	6*2	6*3	6*4	6*5	6*6

Tableau 6: Exemple de diallèle complet avec $p=6$

Au total nous avons :

p^2 croisements au total : ensemble du tableau : 36

p autofécondations: diagonale du tableau : 6 autofécondations.

$p^2 - P$ croisements dit réciproques: ensemble du tableau moins la diagonale :30 hybrides

$p(p + 1)/ 2$: croisements réciproques: moitié du tableau sous la diagonale plus les autofécondation : 21 croisements.

$p(p - 1)/2$: croisements réciproques: moitié du tableau sous la diagonale : 15 (un seul sens de croisement).

Références bibliographiques

- Cauderon A. (1961).** Problèmes posés par la production de semences chez les espèces allogames - Congrès National des Semences - (Rapports).
- Cunningham E.P., (1987).** Crossbreeding The Greek temple model. J. Anim. Breed. Genet. 104, 2 - 11. Dickerson G.E., 1969. Experimental approaches in utilizing breed resources. Anim. Breed. Abstr., 37, 191-202.
- Demarly Y. (1963).** - Génétique des tétraploïdes et amélioration des plantes Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris - Série A 4089 -n" 4940 - I.N.R.A. Paris.
- Demarly Y. (1977),** Génétique et amélioration des plantes, Masson, Paris, 287 p.
- Eisen E.J., (1989).** Genetic models to predict crossbred performance: a review. Rev. Brasil. Genet., 12, 13 - 26.
- Fehr W.R. (1987),** Principles of cultivar development, Vol. 1. Theory and technique, MacMillan, New York, 672 p.
- Fehr W.R. (ed.) (1987),** Principles of cultivar development, Vol. 2. Crop species, MacMillan, New York, 761 p.
- Foulley J.L., LefortG., (1978).** Méthodes d'estimation des effets directs et maternels en sélection animale. Ann. Génét. Sél. Anim., 10, 475-496.
- Galláis A. (1988),** "Heterosis : its genetic basis and its utilization in plant breeding", Euphytica, 39 : 95-104.
- Galláis A. (1990),** Théorie de la sélection en amélioration des plantes, Masson,Paris, 588 p.
- Gillet M. (1963).** Un plan systématique de polycross pour les nombres de base pairs. - An». Amélior. Plantes - T. 13 - 3 • 269-276.
- Hill W.G., (1982).** Dominance and epistasis as components of heterosis. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., 99, 161 - 168. Kinghorn B.P., 1980. The expression of recombination loss in quantitative traits. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., 97, 138 - 143.
- Hutin Cl. (1954).** - Evolution des souches au cours des générations de multiplication. Problèmes pratiques génétiques - Conférence européenne des herbages - juin 1954 - O.E.C.E.
- Kremer, A. (1986).** Méthodes et stratégies de sélection. Revue Forestière Française.89-101.
- North C. (1979).** Plant breeding and genetics in horticulture, MacMillan, Londres,150 p.

Picard J. (1954). - Observations sur les méthodes d'appréciation de la valeur des plantes ou des lignées destinées à la création de souches - Conférence européenne des herbages - juin 1954 O.E.C.E.

Picard J. (1959). Quelques résultats concernant l'amélioration du Trèfle incarnat. Ann. Amélioration des plantes - série B • 319-331.

Plucknett D.L., Smith N.J.H., Williams J.T. & Murthi Anishetty N. (1990), Banques de gènes et alimentation mondiale, INRA-Economica, Paris, 228 p.

Richards A.J. (1986), Plant systems, Allen & Unwin, Londres, 529 p.

Sellier P., (1982). Selecting populations for use in crossbreeding. In Proc. 2nd World Congress on Genetics Applied to livestock Production, 4 - 8 October 1982, Madrid, Vol. II. 15 - 49.