

Université Djilali BounaamaKhemis Miliana
Faculté des Sciences de la nature de la vie et de la terre
Département Phytotechnie

Génétique et
Amélioration des Plantes
Cours destiné aux étudiants Master 1
en S1 Spécialité : Production Végétale

Dr : Bousalhih Brahim Enseignant chercheur

Sommaire

Chapitre I. Notions sur l'amélioration des plantes

- 1.1. Généralités
- 1.2. Définition
- 1.3. Objectifs de l'amélioration
- 1.4. Etapes de l'amélioration des plantes
 - a. Amélioration primitive
 - b. Amélioration populaire
 - c. Amélioration à l'échelle industrielle
 - d. Amélioration en tant que science
- 1.5. Organisation des êtres vivants
 - a. Notions d'espèce
 - b. Lignée pure
 - b. 1. Notion de lignée pure
 - b. 2. Propriétés des lignées pures
 - c. Notions de variétés
 - d. Limites des variétés modernes
 - e. Homogénéité variétale
 - f. Clone
 - g. Populations

Chapitre II. Signification de l'hérédité polygénique

- 2.1. Introduction
- 2.2. Définition
- 2.3. Génomique
- 2.4. Séquençage
- 2.5. Conséquences
- 2.6.. Additivité
- 2.7. Effets de dominance

- 2.7.1. Codominance
- 2.7.2. Superdominance
- 2.8. Epistasie
- 2.9. Expression des variances

Chapitre III. Structure des populations et régime de reproduction

- 3.1. Reproduction sexuée
 - a. Régimes de reproduction
 - b. Allogamie
- 3.2. Reproduction asexuée
 - a. Apomixie
 - b. Agamospermie
 - c. Multiplication végétative du type viviparité Apoflorie

Chapitre IV. Hybridation

- 4.1. Historique
- 4.2. Définition
- 4.3. Formes d'hybridations
- 4.4. Avantage de l'hybridation
- 4.5. Facteurs favorisant l'hybridation dans la nature
- 4.6. Technique d'hybridation végétale
 - a. Castration
 - b. Pollinisation
- 4.7. Classification des hybridations
- 4.8. Hétérosis et effets d'inbreeding
 - a. Hétérosis
 - b. Inbreeding
- 4.9. Valeur d'un individu en croisement
 - a. Héritabilité
 - b. Aptitude à la combinaison
 - b.1. Aptitude Générale à la Combinaison
 - b.2. Aptitude Spécifique à la Combinaison

4.10. Travaux Dirigés

Chapitre V. Etude variétale

- 5.1. Variétés hybrides
- 5.2. Utilisation
- 5.3. Inconvénient d'une variété hybride
- 5.4. Variétés synthétiques
- 5.6. Variétés population
- 5.7. Variétés clones

Chapitre VI. Amélioration des espèces fruitières

- 6.1. Introduction
- 6.2. Caractéristiques biologiques des espèces fruitières
- 6.3. Propriété et objectifs de l'amélioration des espèces annuelles
- 6.4. Stratégie d'amélioration des arbres pérennes
- 6.5. Progrès réalisés
- 6.6. Critères de sélection
 - a. Sélection de portes greffes
 - b. Exemple de critères de sélection d'un Porte-greffes hybrides
 - c. Interactions porte greffe et greffon
- 6.7. Application du génie génétique
- 6.8. Homologation

Chapitre VII. Sélection

- 7.1. Introduction
- 7.2. Variabilité
- 7.3. Modes de reproduction
- 7.4. Méthodes de sélection
 - a. Sélection conservatrice
 - b. Sélection créatrice
 - c. Sélection massale
 - d. Sélection récurrente

- e. Sélection généalogique (ou méthode pédigrée)
- f. Sélection bulk
- g. Méthode des Filiation mono graine (Single Seed Descend : SSD)
- h. Rétrocroisement ou Backcross

Chapitre VIII. Polyploïdie

- 8.1. Introduction
- 8.2. Intérêt de la polyploïdie
- 8.3. Classification de la ploïdie
- 8.4. Haploïdie
 - a. Avantages
 - b. Principes techniques d'haplo diploïdisation

Chapitre IX. Mutagénèse

- 9.1. Généralités
- 9.2. Formes de mutations
 - a. Mutation du génome
 - c. Mutation génique
 - d. Mutation chromosomique
 - e. Mutation germinales
 - f. Apparition des mutations
 - g. Application de la mutagénèse

Chapitre X. Transgénèse

- 10.1. Définition
- 10.2. Conditions
- 10.3. Applications médicales et industrielles
- 10.4. Techniques d'élaboration
- 10.5. Techniques de transfert
 - a. Direct
 - b. Indirect
 - c. Détection d'OGM

Chapitre XI. Production de semences chez les céréales

11.1. Définition

11.2. Semence

a. Inconvénient de la semence

b. Certificat d'obtention

11.3. Méthodes de reproduction

a. Multiplication sexuée

b. Semences artificielles

11.4. Qualité de la semence

a. Pureté spécifique

b. Pureté variétale

c. Pureté germinative

d. Etat sanitaire

11.5. Générations de semences

11.6. Types de variétés

11.7. Brevet d'obtention

11.8. Critères d'analyse de la semence certifiée fixés par l'ITGC

Références bibliographiques

Introduction

Le cours de génétique et amélioration des plantes est structuré plusieurs chapitres dont l'un des objectifs principal et de faire comprendre à l'étudiant la relation entre la génétique et l'amélioration des plantes et son application dans le domaine de l'agriculture. L'étudiant doit comprendre l'apport des biotechnologies végétales et leur application dans le domaine de l'agriculture et son impact sur les productions agricoles. A travers l'amélioration des plantes l'étudiant doit être capable de trouver des solutions pour la résolution des problèmes d'augmentation de la production agricole. L'amélioration génétique était et restera le moteur de l'accroissement des rendements de par le monde. On note que le programme d'amélioration de la production du blé entamé par certains pays Européen durant le siècle passé, a entraîné l'augmentation des rendements du blé de 80 kg par ha et par an durant la période de 1950 à 2000. Le gain génétique réalisé sur le rendement du blé a été évalué à plus de 33% durant les années soixante. L'étudiant doit savoir que la génétique et l'amélioration des plantes sont aussi un domaine d'activité au cœur de l'évolution de la société. Les progrès de la recherche agronomique de l génétique et des méthodes de sélection ont permet d'améliorer les rendements des cultures a permet de nourrir plus de personnes. L'amélioration des plantes doit relever de nouveaux défis tels que la raréfaction de l'eau, des terres cultivables et des ressources fossiles, alors que le nombre de bouches à nourrir ne cesse de croître.

Chapitre I.

Notions

1.1. Généralités

L'amélioration des plantes, en interaction avec l'agronomie, a déjà beaucoup apporté à la satisfaction des besoins alimentaires de l'homme. L'amélioration montre que des progrès importants sont encore possibles afin de nourrir les 9,6 milliards de personnes qui seront présentes sur Terre en 2050. L'amélioration des cultures grâce à la génétique a contribué pour plus de 14 milliards d'euro au PIB de l'Union Européenne depuis 2000. D'un point de vue génétique, le but de l'amélioration des plantes est de réunir dans un même ensemble de plantes, une variété, le maximum de gènes favorables pour les différents caractères à améliorer. Pour que le progrès génétique obtenu par le sélectionneur parvienne jusqu'à l'agriculteur plusieurs acteurs interviennent (organismes de distribution, marché).

Comment sélectionne-t-on pour le rendement, la résistance aux maladies, la tolérance à la sécheresse, la valorisation de la fumure azotée et la qualité de différentes productions ? Quelles sont les possibilités d'action sur ces caractères pour répondre au triple défi : nourrir le monde, respecter l'environnement et adapter l'agriculture au changement climatique ? L'amélioration des plantes répond aux différentes attentes des agriculteurs, des consommateurs, des industriels de l'agroalimentaire et de la société. Actuellement, on peut dire qu'une civilisation du gène est née, utilisant des biotechnologies de plus en plus précises pour la création de nouvelles variétés.

1.2. Définition

L'amélioration des plantes peut être définie comme l'art et la science de la sélection et la création variétale. Pour créer une variété on fait appel à certaines connaissances en biologie en génétique en biométrie et en économique.

D'un point de vue génétique, le but de l'amélioration des plantes est de réunir dans une plante ou variété le maximum de gènes favorables pour le caractère à améliorer.

1.3. Objectifs de l'amélioration

L'objectif principal de l'amélioration des plantes est la répartition des produits du métabolisme de la plante au niveau des organes qu'on a besoin. Ces objectifs peuvent être synthétisés comme suit :

- Economiques diminution des coûts de production,
- Régularité des rendements en quantité et en qualité propriétés organoleptique, récolte mécanique,
- Résistance aux variations environnementales (facteurs abiotiques),
- Résistance aux facteurs biotiques (maladies, conservation, transport).

Le sélectionneur doit trouver un compromis entre ces différents caractères pour arriver à créer l'idéotype recherché.

1.4. Etapes de l'amélioration des plantes

a. Amélioration primitive

Vers le néolithique que l'homme a entrepris l'activité de sélection de certaines espèces animales et végétale. A cette époque on ne s'est intéressé qu'aux espèces et sa survie. Beaucoup d'espèces actuelles étaient déjà connu à l'époque de la pierre 10 milles ans avant notre ère. L'utilisation de techniques de sélection artificielle a été utilisée en Egypte et en Mésopotamie avant notre ère chez le dattier par la fécondation artificielle.

b. Amélioration populaire

L'amélioration des techniques agricoles a dicté des pratiques de sélection artificielles ce qui permet l'obtention d'importants résultats de production. En Algérie cette pratique a été appliquée par les colons, on recrutant des femmes on leur demandant de cueillir que les plus beaux épis de blé qui seront ensuite battus dont les graines seront semées l'année suivante. C'est certainement de cette époque que les variétés locales ont été sélectionnées (blé, orge et avoine).

c. Amélioration à l'échelle industrielle

Grâce aux travaux de Vilmorin vers les années 1774, ce dernier a créé la fondation Vilmorin spécialisée dans l'amélioration des plantes. Ce qui lui a permis l'obtention de variétés de betterave à sucre avec un taux de sucre trois fois supérieur aux variétés de départ.

d. Amélioration en tant que science

Les bases scientifiques de l'amélioration de plantes domestiquées ont été entreprises il y a environ deux siècles par des sélectionneurs. Ceci n'empêche pas que des méthodes empiriques sont encore utilisées par les agriculteurs eux-mêmes. Les travaux de Vavilov en 1887-1983 ont joué un rôle capital par la description de la répartition géographique des espèces et la définition des centres d'origine des espèces cultivées.

1.5. Organisation des êtres vivants

a. Notion d'espèce

L'espèce est un ensemble d'organismes potentiellement capables de se reproduire entre eux et reproductivement isolés des autres groupes végétaux. Ou bien un ensemble de populations normalement isolées sexuellement d'une manière complète des autres, mais non entre elles. Pour maintenir une espèce cela implique la possibilité d'échanges constants de gènes entre les différents individus formant l'espèce. Certaines difficultés d'ordre fonctionnelles ou génétiques sont à l'origine de l'impossibilité de former des hybrides entre deux espèces bien distinctes. Cette incompatibilité résulte souvent d'une inégalité entre chromosomes ce qui perturbe la division cellulaires soit que la fécondation ne peut pas se faire suite à la non germination du pollen, la période de maturation des organes mâles et de l'organe femelle est décalée ou d'une incompatibilité noyau-cytoplasme. La répartition des gènes responsables de l'isolement sexuel dans le règne végétal est le seul responsable de la diversité génétique dans la nature. Le remaniement des chromosomes provoque des isolements sexuels et par conséquent l'isolement des espèces.

b. Lignée pure

b. 1. Notions

C'est un groupe d'individus génétiquement identique et entièrement homozygote. Ils ont tous le même génotype donc le même phénotype et sont identiques. La lignée pure s'obtient automatiquement chez les plantes autogames.

L'autogamie élimine l'hétérozygotie, dans le cas d'une lignée pure à la suite d'une hybridation accidentelle ou à une mutation. Les lignées pures préservent l'homogénéité et la stabilité génétique au détriment de la diversité génétique.

Exemple d'un individu hétérozygote Aa, ces descendants se répartissent selon la formule du mono hybridisme :

AA x aa on aura en F₁ = Aa 100 % Hétérozygote

$$F_2 = \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa \text{ (50\% d'hétérozygote)}$$

$$F_3 = \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} (\frac{1}{4} AA + \frac{1}{4} Aa + \frac{1}{4} aa) + \frac{1}{4} aa$$

Soit : $\frac{3}{8}AA + \frac{3}{8}aa + \frac{1}{4} Aa$, c'est-à-dire 25% d'hétérozygotes et 75% d'homozygotes,

$$F_4 = \text{on aura 12.5\% d'hétérozygotes et 87.5 \% reste d'homozygotes.}$$

On constate que l'autogamie conduit progressivement à l'homozygotie. On note aussi que l'agriculteur ne peut pas reproduire indéfiniment une lignée pure parce que l'autofécondation est rarement absolue parce que :

- Il y a toujours une allo fécondation chez toutes les espèces autogames qui est de 1 à 5% chez les céréales et de 30% chez le colza,
- Il peut y avoir un mélange de variétés différentes,
- Possibilités plus au moins de mutations,
- L'état sanitaire de variétés est très difficile à maintenir.

b.2. Propriétés

* Tous les individus sont identiques,

* La lignée pure est stable (l'agriculteur peut produire lui-même sa semence, mais pas indéfiniment),

* La lignée pure possède une grande rigidité écologique.

Le potentiel d'adaptation est nul chez une lignée pure, le milieu n'a aucune influence sur le comportement de la lignée pure. Les lignées homozygotes sont bien adaptées à une niche écologique déterminée.

c. Notions de variétés

Une variété est un individu qui se différencie de son espèce par de petites modifications ou variations de forme ou de couleur par rapport à une population de la même espèce. Cette variation issue d'une mutation génétique doit être stable et se perpétue dans les générations suivantes.

c.1. Limites des variétés modernes

L'amélioration génétique était le moteur de l'accroissement des rendements chez les plantes cultivées. On a constaté que l'introduction de variétés modernes n'a pas donné les résultats escomptés, car elles nécessitent une conduite moderne des cultures. La génétique et les techniques agricoles prennent une part équivalente dans l'amélioration du rendement des céréales. L'introduction de variétés de blé à haut rendement durant les années soixante-dix ne fut un succès que chez les agriculteurs qui ont opté pour des techniques adaptées aux besoins de ces génotypes.

Pour atteindre les objectifs qui sont l'intérêt de l'agriculteur et le bien-être de l'humanité, les variétés créées soient adaptées aux conditions locales ainsi que l'environnement agricole dans son ensemble.

d. Homogénéité variétale

Les exigences commerciales, industrielles et la législation obligent les agriculteurs à suivre un mode de reproduction strict pour l'obtention de production de semence uniforme. Une variété supérieure se répand très facilement sur de grandes surfaces ce qui l'expose aux aléas climatiques et aux épidémies. Exemples, les dégâts occasionnés par la rouille chez les variétés hybrides de maïs aux Etats Unis en 1946 et celui de la rouille chez le blé au Pakistan en 1979. Pour éviter les risques il faut opter pour l'hétérogénéité génétique c'est-à-dire cultiver plusieurs variétés. En régions hétérogènes du point de vue climat et sol, opter pour la diversité variétale.

e. Clone

C'est l'ensemble des individus descendants d'un individu unique, mais par voie végétative. Les espèces à multiplication végétatives sont nombreuses et les clones sont

très variés (tubercules, greffe, boutures, bulbes, marcotte, tissus cellulaires, culture d'embryons etc.).

Ces clones sont parfaitement homogènes génétiquement bien qu'étant entièrement hétérozygotes. Dans ce cas tous les individus sont identiques et bien définis que les individus d'une lignée pure. Génétiquement les clones sont très stables dans le temps il y a des variétés qui ont plus de 4 à 5 siècles. Les clones sont souvent exposés aux dégénérescences sanitaires d'origine virales.

f. Populations

Dans la nature les êtres vivants se rassemblent le plus souvent non pas en lignées mais en populations. La population est un ensemble d'individus se reproduisant entre eux. Ils se caractérisent par un ensemble de caractères d'adaptation au milieu, résistance aux facteurs biotiques et abiotiques. Ils peuvent avoir des phénotypes et génotypes différents. On peut les considérer comme une communauté génétique. Les populations sont classées en deux groupes :

- **Plantes autogames**

C'est des espèces qui ont l'autofécondation comme mode de reproduction. Les individus issus de deux gamètes d'un même individu chez lequel le zygote se forme à partir du grain de pollen et du sac embryonnaire de la même fleur. Les espèces autogames ont un degré d'homozygotie très élevé exemple du blé qui a un taux d'homozygotie de 96%. Les individus issus de cette fécondation sont homozygotes. Chez la majorité des plantes autogames il existe un taux de fécondation croisé inférieur à 5 %, exemple le sorgho. Ce taux peut être très élevé, il avoisine les 30 % chez le colza. Cela nous impose des règles pour procéder à l'isolement surtout dans des champs de sélection, ou par soucis de préserver la pureté des semences.

- **Plantes allogames :**

Sont des espèces qui se caractérisent par l'allo fécondation comme mode de reproduction. Les individus sont issus de la fécondation d'un grain de pollen et d'un sac embryonnaire de deux plantes différentes. Les individus issus de ce croisement sont hétérozygotes et très différents entre eux et entre leurs parents à cause du brassage des gènes. L'allogamie est favorisée par plusieurs phénomènes (dioïcie, protandrie et stérilité mâle). La nature préfère l'allogamie.

Chapitre II.

Signification de l'hérédité polygénique

2.1. Introduction

Johann Gregor Mendel **est** né le 20 juillet 1822. Il est reconnu comme le père fondateur de la génétique.

La multiplicité des organismes vivants est très importante. D'après les écrits sur ce sujet il peut y avoir actuellement près de 10 millions d'espèces. Aucune espèce ne ressemble à l'autre. C'est grâce à leur à cette information génétique que les espèces sont différents les uns des autres. L'information génétique est portée par des molécules spécifiques. Les eucaryotes et les procaryotes sont les êtres vivants différents les des autres grâce à la présence ou non du d'un noyau.

2.2. Définition

La génétique est la science de l'hérédité. C'est l'étude des caractères héréditaires des individus et leur transmission d'une génération à l'autre. La transmission des caractères d'une génération à l'autre à permis l'établissement des lois de Mendel. La génétique est une science qui étudie la transmission des caractères et les supports de l'hérédité qui sont les gènes et plus précisément l'ADN. La génétique est une science moderne qui a évolué grâce à la découverte des techniques de biologie moléculaire. Actuellement la génétique a ouvert des voies à la recherche du fonctionnement des gènes et des génomes en général. La génétique avec les sciences modernes a connu un essor très important depuis les années 1970, avec la découverte des techniques de biologie moléculaire et du développement du génie génétique.

2.3. Génomique

La génomique est une branche de la génétique qui s'occupe de l'information génétique (ADN) d'un organisme : ou plus précisément de son génome. L'ADN se trouve chaque cellule d'un organisme sous forme de chromosomes dont le nombre varie en fonction des espèces.

Toutes les informations pour le bon fonctionnement d'un organisme végétal ou

animal. L'objectif de la science génomique c'est l'étude de la structure des génomes : séquençage qui permet de cibler les gènes et comprendre son fonctionnement et

son rôle dans l'expression de caractères. La molécule d'ADN a été découverte de la structure en

double hélice de l'ADN par James Watson, Francis Crick et Maurice Wilkins le 18 octobre 1962.

2.4. Séquençage

Le séquençage du génome est une opération ayant pour objet voir l'enchaînement des quatre molécules qui composent l'ADN, qui sont : Adénine, Thymine, Guanine et Cytosine dénommés A, T, G et C. Le séquençage est méthode utilisée pour décrypter l'information génétique d'un organisme. Actuellement le génome *Arabidopsis thaliana* a été complètement séquencé en 2005 et qui sert de prototype. Le génome humain a été complètement séquencé en 2004 avec des frais qui s'élèvent à 200 millions de dollars. Le génome humain compte plus de 3 milliards de paires de bases. Le développement des techniques de séquençage a permis de pouvoir séquencer un génome humain pendant quelques jours avec un coût très faible.

La multiplicité des organismes vivants est très importante. D'après les écrits sur ce sujet il peut y avoir actuellement près de 10 millions d'espèces. Aucune espèce ne ressemble à l'autre. C'est grâce à leur à cette information génétique que les espèces sont différents les uns des autres. L'information génétique est portée par des molécules spécifiques. Les eucaryotes et les procaryotes sont les êtres vivants différents les des autres grâce à la présence ou non du d'un noyau. Les génomes représentent des composés chimiques difficiles à manipuler et à décrire en terme chimiques. Avec le développement il est facile d'isoler et décrire un gène ou de montrer d'un phénotype à un gène que de d'identifier une protéine et sa fonction éventuelle.

2.5. Conséquences

L'intervention de l'homme pour l'amélioration des plantes utilisés pour ces besoins de sa vie est très ancienne elle remonte au néolithique. Son intervention lui a permis de passer du chasseur cueilleur à l'agriculteur. La sélection de variétés végétales et de races animales à partir de la diversité naturelle existante à modifier complètement la vie de l'être humain durant des siècles. A partir du 19^e siècle que les travaux sur l'hybridation a permis des croisements entre espèces différentes. Depuis la découverte de la génétique moléculaire ainsi que les progrès enregistrés en biologie cellulaire. L'impact sur agriculture est probant : augmentation de la production pour faire face à une population en croissance surtout dans les pays du tiers monde. La mécanisation à outrance et l'utilisation massive d'intrants en agriculture entraîne la fuite des populations agricoles sans omettre négligence des conséquences écologiques de ces pratiques. La

prise de conscience croissante des menaces pour l'environnement ont engendré diverses formes de contestation. L'introduction des nouvelles biotechnologies fondées sur la possibilité de réécrire des portions de génome est une question posée sur les conséquences sur l'agriculture et exploitation halieutique.

Le problème exposé en début de 2018 concerne les génomes végétaux. Actuellement le l'analyser des questions sont liées à l'application de ces techniques aux génomes animaux et son impact sur la vie humaine..

2.6.. Additivité

L'additivité d'une structure représente la part courante que sa présence apporte dans la réalisation d'un phénotype, donc pour le sélectionneur c'est un acquis important. On peut considérer les trois génotypes BB, AB, AA marquant une graduation de type 0, 1, 2 dans le contenu en structure A. Ceci permet une présentation graphique où chaque point d'abscisse doit être pondéré par sa fréquence. Si les apports des structures A et B dans la réalisation du phénotype comprenaient des effets uniquement additifs A et B, le génotype AB devrait avoir une valeur phénotypique intermédiaire entre AA et BB. La part appelée additivité sera celle qui est définie par une droite D la mieux ajustée aux valeurs réelles, autrement dit par la droite de régression entre ces valeurs génotypiques.

2.7. Effets de dominance

La part qui relève des effets de dominance dans la valeur d'un caractère est lié à un choix de structures appariées elle est remise en cause à chaque nouvelle génération. L'écart entre la valeur réelle observée et la valeur additive définit les effets de dominance. La dominance apparait comme une somme d'interactions entre les segments homologues.

Le gène de la couleur noire est dominant, parce qu'il s'impose toujours face a un gène récessif.

2.7.1. Codominance

La codominance est le fait que deux variantes différentes d'un gène, ou allèles, travaillent ensemble pour la détermination d'un phénotype, par exemple la couleur. Un individu qui a deux allèles différents d'un gène les deux gènes s'expriment en même temps

pour donner un phénotype intermédiaire entre les deux allèles. Un allèle codant pour un caractère donné est dit allèle dominant.

Deux chromosomes homologues l'un porte l'allèle A et l'autre porte l'allèle B, le caractère exprimé AB, les deux chromosomes sont dominants.

2.7.2. Superdominance

La superdominance est un phénomène présent en deux allèles différents dans un génotype des hétérozygotes. Le rôle de la superdominance est mal maîtrisable. Il apparaît que l'hétérosis serait plus due à des effets de dominance.

2.8.. Epistasie

Est une notion plus complexe qui concerne des interactions entre segments non homologues. Mais elle garde sa signification concertée puisque sa valeur peut être accrue ou modifiée en fonction des recombinaisons et des appariements. La somme des différents types d'interactions entre segments non homologues constitue les effets d'épistasie. Biologiquement les effets d'épistasie recouvrent des processus assez différents :

- Action d'un système régulateur sur un ensemble de gènes structuraux, les gènes inhibiteurs ou de gènes modificateurs,
- Si l'on considère la transmission et la permanence des effets d'épistasie on doit distinguer ceux qui ont trait à des locis en position cis ayant un linkage assez étroit,
- Les effets qui se produisent soit entre des locis plus éloigné soit qui interviennent en position trans.

Les premiers ont une certaine permanence d'une génération à l'autre les seconds sont aléatoirement modifiés à chaque génération en fonction des rencontres gamétiques.

2.9.. Expression des variances

L'aspect le plus intéressant dans cette partition des effets génétiques réside dans le fait qu'en principe : additivité, dominance et épistasie sont définies de façon telle qu'elles n'interagissent pas, c'est-à-dire qu'il n'y a aucune raison biologique pour qu'il existe une covariance entre les effets d'additivité, de dominance et d'épistasie.

L'équation des variances sera : $VG = VA + VD + VI$

Variance Génétique = Variance Additive + Variance Dominance + Variance d'épistasie.

Les nombreux travaux effectués par Schults, (1954) sur le maïs montrent des pourcentages de variances selon les caractères:

Tableau montrant le pourcentage des paramètres génétiques : Additivité, Dominance et Epistasie

Caractères	Additivité en %	Dominance en %	Epistasie en %
Nombre de talles	75	15	10
Nombre	65	25	10
Précocité d'épiaison	60	30	10
Hauteur de la plante	50	40	10
Rendement	30	60	10

Demarly, (1977)

Remarque

- Plus un caractère qui est génétiquement et physiologiquement complexe, moins il a de chance d'avoir une forte variance d'additivité cas du rendement,
- La part croissante des interactions de dominance n'a rien de surprenant puisqu'on sait l'importance de l'hétérozygotie dans la réalisation d'un rendement chez le maïs,
- Le rôle relativement modeste de l'épistasie est plus difficilement explicable, il représente 10 % de la variance totale.

Chapitre III.
Structure des populations
et régime de reproduction

3.1. Généralités

On peut utiliser de nombreux systèmes de croisements pour apprécier les qualités d'un génotype en tant que géniteur. Selon que l'espèce considérée est allogame ou autogame, les techniques utilisées ne seront évidemment pas les mêmes. Chez les espèces autogames les hybridations nécessitent des interventions comme la castration et la pollinisation. Les méthodes utilisées en amélioration des plantes varient selon le mode de reproduction, avant d'effectuer un travail d'amélioration on doit s'attacher d'abord à connaître les mécanismes qui régissent la reproduction des plantes faisant apparaître les spécificités pour chaque type de culture. La création des formes nouvelles (variétés, hybrides), le maintien de lignées parentales et la productivité de la semence dépend des particularités héréditaires et de la biologie florale. Avant d'effectuer une hybridation il importe d'étudier les mécanismes de la fécondation chez les plantes utilisées. Une fois la variété obtenue elle doit être maintenue et multipliée sans risque de changement dans la constitution génétique de base. En effet le changement de la fréquence génique peut induire la perte de propriétés variétales uniques.

La pureté variétale est maintenue grâce à la mise au point de techniques appropriées de conservation et de multiplication variétale, cette pureté dépend en grande partie du pouvoir :

- Du pollinisateur d'une population,
- Du reproducteur de ces composantes,
- De l'efficacité de l'isolement par rapport au pollen étranger.

3.2. Reproduction sexuée

La reproduction chez les plantes se fera selon deux groupes : plantes autogames et plantes allogames.

a. Régimes de reproduction

a.1. Existence d'une sexualité au niveau des fleurs

- **Hermaphrodite** : la fleur possède en même temps des étamines et des grains de pollen,
- **Staminate** : c'est une fleur mâle, elle ne possède que des étamines,

- **Pistillate** : c'est une fleur femelle, elle ne possède que des carpelles.

a.2. Existence d'une sexualité au niveau de la plante

- ***Hermaphrodites** : plante possède des fleurs mâles et de fleurs femelles
- ***Monoïcie** : plante possède soit des fleurs mâles ou des fleurs femelles,
- ***Androïcie** : plante possède uniquement des fleurs mâles,
- ***Gynoïcie** : plante possède uniquement des fleurs femelles.

b. Allogamie

Le zygote est formé à partir du grain de pollen d'une fleur et le sac embryonnaire d'une autre fleur. Entre les deux groupes, il y a plusieurs formes intermédiaires et avant de les aborder signalant qu'on peut parler de sexualité chez une fleur, une plante ou un groupe de plante.

L'allogamie peut être le résultat chez les plantes d'une situation structurale tel que la monoïcie ou à la dioïcie. Les systèmes qui favorisent ce mode de fécondation chez les fleurs hermaphrodites sont d'origine fonctionnelle ou dû à des barrières morphologiques ou physiologiques :

- **Protandrie** : le pollen est mûr avant le stigmate, exemple la carotte
- **Protogynie** : le stigmate atteint la maturité avant le pollen ex : le thé,
- **Auto-incompatibilité** : c'est un système d'origine génétique qui ne permet le développement du tube pollinique que lorsque la fécondation a été faite par du pollen d'une autre fleur que la réceptrice ex : trifolium, prunus.
- **Stérilité mâle** : elle peut être d'origine génétique, cytoplasmique ou géno-cytoplasmique. Les gamètes produits ne sont pas fonctionnels d'où la nécessité d'une fécondation croisée avec une plante produisant des gamètes mâles fonctionnels. Avant d'effectuer un travail de sélection chez une plante, il est nécessaire de connaître son taux d'allogamie.

3.3. Reproduction asexuée

Chez l'amphimixie (ou reproduction sexuée) le zygote provient de la fusion des deux gamètes. Par opposition à l'apomixie qui est un mode de reproduction asexuée qui peut prendre différentes formes et dont l'exploitation en amélioration des plantes ouvre de larges perspectives. Ce mode de reproduction existe chez l'hydre d'eau douce et présente un caractère de généralité chez les végétaux. Tous les cas de remplacement de la

reproduction sexuée par des mécanismes ou n'interviennent plus la fécondation sont groupés sous le nom d'apomixie.

a. Apomixie :

C'est l'anglais Smith en 1841 qui a constaté la présence de grains chez *Alchévinea illicifolia mull* sans qu'il y ait fécondation. L'étude de l'apomixie a pris son essor au début du 20^{ème} siècle suite aux travaux de Rosenberg en 1930. Les cas trouvés par ce chercheur peuvent être classés en deux groupes :

- Agamospermie : formation de graines sans fécondation,
- Multiplication végétative : utilisation d'organes végétatifs.

b. Agamospermie

C'est un phénomène très complexe où plusieurs situations peuvent se présenter :
Parthénogenèse méiotique : C'est le développement de l'oosphère après réduction normale mais sans fécondation. Très exceptionnelle dans la nature. Le procédé peut être induit par le croisement entre *Solanum nigrium* et *Solanum lutéum* où le noyau mâle pénètre dans l'oosphère et s'y désintègre tandis que le noyau femelle stimulé se développe en embryon haploïde puis en une plante d'apparence plus ou moins normale et ne possède qu'un seul jeu de chromosomes et elle est stérile.

- **Parthénogenèse amiotique** : L'embryon se développe directement à partir d'une oosphère mais diploïde dans ce cas la fécondation est supprimée suite à la suppression de la mitose.
- **Apogamie** : Formation d'un embryon sans fécondation à partir d'une cellule du sac embryonnaire autre que l'oosphère c'est-à-dire une synergide ou antipode.
- **Androgenèse** : Le noyau reproducteur atteint l'oosphère et le remplace et constitue l'embryon. L'androgenèse peut être induite par des cultures d'anthères ou de grains de pollen dans certains milieux nutritifs. Des plantes peuvent se développer à partir des grains de pollen.
- **Embryonnie adventive** : L'embryon se développe à partir d'une cellule ou d'un groupe de cellule du nucelle ou du tégument de l'ovule. La fécondation ou au moins l'entrée d'un tube du pollen est parfois nécessaire au développement des embryons adventifs. Ce phénomène est très fréquent chez les citrus.

La parthénogenèse et l'Apogamie peuvent se manifester à la suite des phénomènes :

- **Aposporie** : c'est l'absence de sports, une cellule du nucelle ou du tégument remplace la cellule mère et constitue le sac embryonnaire,
- **Diplosporie** : La cellule mère du sac embryonnaire donne naissance à une ou deux spores sans réduction chromatique (cellule mère à $2n$).

c. Multiplication végétative du type viviparité Apoflorie,

C'est l'absence de fleurs. Aux emplacements où devraient normalement se différencier des fleurs apparaissent des organes de dissémination appelé : bulbille ex l'ail. L'obtention d'haploïdes ou de diploïdes par voie asexuée présente un grand intérêt à l'amélioration des plantes :

- Multiplication des hétérozygotes sans changement d'ordre génétique,
- Facilite la multiplication des polyploïdes impaires ce qui présentent des caractères intéressants et avantageux,
- Multiplication de certaines plantes par embryonnie adventive lorsque la multiplication végétative est difficile (obtention de plante indemne de virus, obtention de plantes haploïdes pouvant présenter un intérêt agronomique une fois leur stock chromosomique dédouble).

Chapitre IV.

Hybridation

4.1. Historique :

Lors de ses expériences sur les petits pois, Mendel a provoqué l'apparition de nombreux hybrides. Les bases de l'hybridation remontent au siècle dernier avec les travaux de Charles Darwin, William Beal et Georges Shull. Ces travaux ont permis l'obtention de lignées pures à partir des populations créées par plusieurs siècles de sélection massale et de mettre en évidence l'effet d'hétérosis par le croisement de deux lignées pures les plantes obtenues se révélaient plus vigoureuses et plus productives. C'est à partir de 1933 que les premières semences hybrides de maïs ont été disponibles pour les agriculteurs et que leur emploi s'est généralisé. On peut distinguer deux types d'hybridations selon le croisement parental effectué.

4.2. Définition

L'hybridation est une fécondation croisée entre deux variétés ou espèces et même entre genres, opération qui ne suit pas les lois naturelles. Elle est provoquée par la manipulation de l'homme (en latin hybrida signifie sang mêlé). L'hybridation donne naissance à des individus regroupant les caractéristiques des deux parents. Ces individus sont appelés : hybrides. L'hybridation peut se produire à l'état naturel.

4.3. Formes d'hybridations

- **Hybridation intra spécifiques** : C'est un croisement entre deux variétés proches appartenant à la même espèce, exemple : croisement entre deux variétés d'oignon à bulbe, la variété A a bulbe gros et l'autre B à bulbe fin. L'hybride issu de ce croisement a un bulbe volumineux que les deux parents.
- **Hybridation interspécifique** : Reproduction sexuée entre deux individus appartenant à deux espèces éloignées génétiquement ou deux genres différents. Exemple *Spartinoma ritina* avec une hauteur de 50cm à $2n = 60$ chr et *Spartinaal ternifolia* avec une hauteur de 1m à $2n = 62$ chr. Ces deux espèces après hybridation ont donné Spartinatowsed avec $2n = 61$ chr, espèce stérile, après tétraploïdisation $2n \times 2 = 122$ chr espèce plus vigoureuse et fertile. Le blé cultivé actuellement est obtenu par croisement entre un blé ancien du moyen orient et l'engrain $2n = 4n$. Le blé tendre croisé avec l'épeautre ont donné un hybride le seigle à $8n$. L'hybride obtenu est fertile ce qui a aboutit à une nouvelle espèce.

Les hybrides formés peuvent être fertiles et donneront une nouvelle espèce. Parfois les hybrides formés sont viables mais stériles, à cause d'une incompatibilité génétique ou d'une disparité dans la garniture chromosomique. Le processus de sélection engagé depuis des siècles a permis l'obtention de milliers de formes qui ont montré leur supériorité par rapport aux formes d'origine. L'agriculture moderne exige de nouvelles variétés que l'homme doit y répondre par l'hybridation.

L'hybridation ne crée pas de nouveaux caractères mais crée de nouvelles combinaisons de caractères par de nouveaux agencements géniques (Gallais, 1988).

4.4. Avantage de l'hybridation

L'hybridation peut améliorer ou modifier certains caractères tels que : la productivité, les caractères organoleptiques, la conservation, la résistance aux facteurs biotiques et abiotiques.

L'hybridation a été réalisée pour la création de nouvelles variétés qui répondent aux exigences de la société moderne.

On peut rencontrer trois formes d'hybrides :

- Monohybride : dans ce cas l'hybride ne montre qu'un seul caractère des deux parents,
- Dihybride : dans ce cas l'hybride montre deux caractères des deux parents,
- Trihybride : dans ce cas l'hybride montre trois caractères des deux parents.

4.5. Facteurs favorisant l'hybridation dans la nature

L'allogamie est favorisée par les croisements entre les espèces ou individus :

- La proximité physique des espèces ou genres permet la fécondation entre eux,
- La séparation des sexes dans l'espace rend difficile l'autofécondation des individus ex : Saule, Ortie.
- Plantes mâles stériles due à la mauvaise formation des étamines ou le pollen est non viable, les pieds femelles peuvent donner une descendance hybride fertile,
- Séparation des sexes dans le temps (dichogamie) pollen mur alors que le pistil n'est pas réceptif.

4.6. Technique d'hybridation végétale

a. Castration

Pour obtenir des hybrides chez les plantes autogames on doit procéder à la suppression de l'organe mâle (anthères du parent femelle) avant qu'il ne soit mûr. Afin d'éviter l'autofécondation. Chez l'orge par exemple la castration se fera quand l'épi est dans sa gaine tandis que chez le blé on émascule quand l'épi est à demi sorti de la gaine. La période d'émasculature dépend de chaque espèce. Les fleurs sont ensuite recouvertes d'un sachet en papier dont la face externe est enduite d'huile pour éviter des stagnations de gouttelettes d'eau qui seront un lieu de prolifération de moisissures qui compromettront l'opération.

b. Pollinisation

Après la castration et quand les stigmates sont réceptifs on apporte les grains de pollen qu'on les met sur le pistil de la fleur castrée. La période d'apport du pollen reste tributaire de l'espèce et des conditions climatiques régnantes. Chez le blé on introduit deux ou trois épis à l'intérieur du sachet avec l'épi émasculé tout en les frottant contre ce dernier afin de faciliter la pollinisation. La graine issue est un hybride simple qui porte l'information génétique des caractères des deux parents. On peut croiser un hybride simple avec une lignée choisie ce qui va nous donner un hybride à trois voies.

4.7. Classification des hybridations

Les hybridations sont classées d'après les :

a. Les formes de pollinisation,

* **Hybridation sexuée naturelle**, Cette forme de croisement est très répandue dans la nature,

* **Hybridation sexuée artificielle**, elle exécutée pour des raisons de recherche,

* **Hybridation sexuée libre**: la plupart des espèces sont régité par ce type de croisement. Elle se fait naturellement sans l'intervention de l'humaine.

b. Le nombre de géniteurs qui participent à l'opération,

* **Hybridation simple** : $\text{Parent}_1 \times \text{Parent}_2 = \text{Hybride } F_1$

* **Hybridation double** : Parent₁ x Parent₂ = Hybride F₁₁; Parent₃ x Parent₄ = Hybride HybrideF₁₂; Hybride F₁₁ X Hybride F₁₂ = Hybride F₁₁₂.

* **Hybridation complexe** : Variété₁ x Variété₂ = A ; Variété₃ x Variété₄ = B ;
Variété₅ x Variété₆ = C ; A x B = AB qu'on le croise avec C : AB x C

c. Le nombre de géniteurs et le degré de parenté

* **Hybridation régressive**

* **Hybridation diallèle** :

Cette méthode permet une interprétation plus poussée en termes d'aptitude à la combinaison. Tous les parents seront utilisés en tant que mâle en premier et dans un deuxième temps comme femelle (réciproques). Cette forme d'hybridation nous fournit des renseignements sur la signification et les estimations des effets réciproques généraux et spécifiques et offrent aussi l'avantage d'apporter des paramètres génétiques simples. Les conclusions auxquels on aboutit vont nous guider vers la sélection: soit au niveau des parents soit au niveau de la descendance.

L'analyse de l'Hybridation diallèle peut s'interprète soit par la méthode Hayman 1954 ou par la méthode Griffing 1956.

c.1. Hayman 1954

Hybridation diallèle est basée sur le du modèle de Mather (1949) applicable essentiellement aux plantes autogames et allogames. Cette méthode nécessite le calcul de la covariance parent-descendants (Wr) et des variances (Vr) de chaque famille. Les covariances et les variances permettent l'établissement et l'interprétation d'une parabole et des droites de régression dont les formules sont les suivantes

* Parabole : $Wr^2 = VOVr$

* Droite de régression : $Wr = bVr + c$

* Droite de régression : $(Wr + Vr) = bt + c$

Cette méthode permet l'estimation en gènes dominants et en gènes récessifs des lignées du diallèle, ainsi que la détection des combinaisons transgressives. Cependant, elle exige la vérification de certaines hypothèses (Cousin, 1969) :

A - comportement de diploïdes lors de la ségrégation,

B - effets maternels, croisements réciproques identiques

C - absence d'épistasie, indépendance de gènes,

D - bi allélisme (deux allèles par locus),

E - homozygotie des parents,

F - distribution indépendante des gènes chez les parents.

A l'exception de l'hypothèse A, les autres apparaissent comme difficiles à contrôler avant la réalisation des croisements.

Cependant, la plus part d'entre elles se vérifient au cours de l'analyse statistique.

Le sens du croisement est très important pour l'obtention d'hybrides F_1 .

L'hypothèse (F) relative au choix des parents reste un problème très délicat (Gallais, 1967).

L'interprétation du graphe dont la formule : qui regroupe toutes les données concernant le caractère mesuré, nous amène aux résultats possibles suivants:

- La proportion d'additivité, de dominance et les effets de superdominance dans l'expression du caractère,
- La fréquence des gènes récessifs et des gènes dominants,
- La recherche des formes transgressives.

* **Hybridation Test top cross** : La structure génétique à étudier sera polonisée par un testeur commun qui peut être une variété, une population ou un hybride.

4.8. Hétérosis et effets d'inbreeding

Ces deux phénomènes sont réciproques et tout ce qui est constaté dans un sens pour l'un peut s'exprimer de manière opposée pour l'autre. Ils se manifestent chez les organismes même dans les cultures de tissus et de cultures cellulaires.

a. Hétérosis

L'effet hétérosis a été montré par le scientifique Shull en 1914 qui a suggéré qu'il n'était que le fruit de l'état hétérozygote de l'hybride. L'effet hétérosis ou vigueur hybride constitue l'augmentation de nombreux caractères (vigueur de la plante, augmentation du rendement, résistance aux maladies, activité physiologique) d'un individu hybride par rapport à ces deux parents. L'hétérosis désigne la supériorité de la valeur moyenne des hybrides par rapport à celle de la meilleure population parentale ou par rapport à la moyenne des deux parents. L'hétérosis est un phénomène qui se produit à partir d'un croisement entre parents proches ou éloignés. Le mécanisme moléculaire de l'hétérosis est mal compris. Sur le plan génétique il peut être expliqué par les effets de dominance ou de superdominance. L'hétérosis peut être soit :

- Supérieur à la moyenne des deux parents, c'est un hétérosis trans qui est égale à : $[(\text{Valeur de l'hybride}) - (\text{Parent}_1 + \text{Parent}_2) / (\text{Parent}_1 + \text{Parent}_2)] \times 100$,
- Supérieur au parent le plus performant, c'est un hétérosis cis qui est égale : $[(\text{Valeur de l'hybride le plus performant}) - (\text{Parent}_1 + \text{Parent}_2) / (\text{Parent}_1 + \text{Parent}_2)] \times 100$. On n'utilise que les parents performants.

Très utilisé en amélioration des plantes, ce phénomène est à la base de la création de variétés hybrides qui connaissent toujours un grand succès (Ecochard, 1961). Elles permettent une amélioration plus rapide des performances agronomiques et un meilleur amortissement des investissements du sélectionneur dans la création variétale. La plus grande partie de l'hétérosis peut être fixée à l'état homozygote.

b. Inbreeding

Cet effet est une baisse générale de la vigueur de la plante, il est observé lorsqu'on soumet une espèce à une succession de croisements consanguins entre la plus part des organismes. L'apparition de tares de gènes létaux ou sub-létaux récessifs s'accompagne d'une certaine vigueur. Ce phénomène est surtout marqué pendant les premières générations de consanguinité, il tend vers un pallier qui sera atteint entre la cinquième ou la dixième génération de consanguinité très étroite. Au cours de ces générations un nombre généralement élève de familles disparaissent soit parce qu'elles sont trop déprimées ou infertiles, soit parce qu'une tare létale les a éliminées. La baisse de vigueur peut concerner l'ensemble des organes du végétal, son développement et sa croissance (poids de matière sèche, poids des grains, vitesse de croissance, résistance biotique et

abiotique et peut même affecter les organes de la plante (racines, feuilles, tiges, épis, fleurs qualité organoleptiques).

4.9. Valeur d'un individu en croisement

a. Héritabilité

La génétique quantitative est un domaine très vaste d'application, parce que la majorité des caractères variables dans les populations ont un déterminisme génétique complexe.

Lorsqu'on se trouve en présence d'une population de plantes que l'on désire améliorer la première question à se poser est toujours de savoir si les différences observées entre les individus proviennent de variations dans la constitution génétique des plantes ou sont liées aux facteurs du milieu. Le concept héritabilité a été défini pour répondre à ce problème, ce qui nous amène à deux types d'héritabilité qu'on peut calculer.

- L'héritabilité au sens large qui exprime la part de la variance phénotypique due à l'ensemble des actions des gènes (additivité, dominance, épistasie). C'est le rapport entre la part de la variance génétique et la variance totale,

$$h^2 = \frac{VG}{VP} \text{ Variance Phénotypique} = \frac{\text{Variance Génétique}}{\text{Variance Environnementale}}$$

- L'héritabilité au sens étroit exprime la part de la variance phénotypique attribuable à l'effet moyen des gènes. C'est le rapport entre la variance additive et la variance phénotypique

$$h^2 = \frac{VA}{VP}, (\text{Variance Additive} = 2(\text{Variance AGC}))$$

Elle permet de déceler la fraction fixable (additivité) et celle qui ne l'est pas. Ce paramètre nous renseigne sur l'additivité qui peut être transmise avec certitude à la descendance.

L'héritabilité au sens étroit est formée presque entièrement par l'additivité des effets des gènes et des effets d'épistasies cis qui peuvent être considérés comme de l'additivité. L'une ou l'autre de ces définitions apportent leur signification à titre d'exemple : l'héritabilité de la présence de fil chez le haricot vert est conditionné par un

gène dominant son héritabilité au sens large est de 100 %, tandis que son héritabilité au sens étroit est de 66 %.

Les héritabilités ainsi définies pour un caractère permettent de se faire une idée des possibilités de sélection sous un régime de reproduction déterminé.

b. Aptitude à la combinaison

Les aptitudes à la combinaison apportent des notions plus précises sur les parents et leurs descendances.

b.1. Aptitude Générale à la Combinaison (AGC),

Elle se définit comme la moyenne des effets gamétiques d'un individu, c'est donc la mesure de la valeur de gamète moyen d'un parent. Exemple le caractère étudié soit le nombre de grains par épi d'un blé. L'AGC d'une lignée sera défini par la moyenne du nombre de grains de l'ensemble des descendants de cette lignée lorsqu'elle aura été croisée avec un certain nombre de structures génétiques.

Chaque structure parentale ou bien chaque population génétique peut être caractérisé par son AGC.

b.2. Aptitude Spécifique à la Combinaison (ASC)

Elle mesure les écarts de prévisions d'additivité des AGC, elle n'a donc de sens que pour un zygote. La comparaison des ASC permet de déterminer les meilleurs parents pour un programme de sélection. Cette comparaison permet de déterminer les meilleures combinaisons hybrides ou les meilleurs espoirs de transgression dans un ensemble de parents de départ. Lorsque nous avons une forte variance d'ASC on doit établir un programme de sélection à partir des hybrides.

Le rapport AGC/ASC permet d'évaluer l'importance de l'additivité et de la dominance dans le contrôle d'un caractère donné.

L'interprétation de ces deux paramètres génétiques AGC et ASC se par la méthode Griffing 1956.

c.3. Méthode Griffing (1956)

Cette méthode est basée sur les effets d'AGC (Aptitude Générale à la Combinaison) et d'ASC (Aptitude Spécifique à la Combinaison). L'AGC reste un effet purement statistique (Gallais, 1974). L'AGC est la moyenne des effets gamétiques d'un individu, par contre, l'ASC

mesure les écarts de prévisions d'additivité des AGC (elle n'a donc de sens que pour un zygote). Ce modèle est le plus simple, plus rationnel sur le plan biologique (Demarly, 1977 ; Mather et Jinks, 1982).

Le rapport AGC/ASC permet d'évaluer l'importance de l'additivité et de la dominance dans le contrôle d'un caractère donné.

La comparaison des ASC permet de déterminer les meilleurs parents pour un programme de sélection. Cette comparaison permet de déterminer les meilleures combinaisons hybrides ou les meilleurs espoirs de transgression dans le lot de parents initial.

Lorsque nous avons une forte variance d'ASC on doit établir un programme de sélection à partir des hybrides.

Griffing (1956) et Gardner et Eberhart (1966) suggèrent de préférence l'application des méthodes où les autofécondations n'entrent pas dans les données car elles introduisent un biais dans les estimations des diverses composantes.

En fait Griffing propose une formule génétique pour chacun des modèles à effet fixe ou aléatoire et pour chacune des quatre méthodes diallèle:

$$* X_{ij} = u + g_i + g_j + s_{ij} + (m_i - m_j) + r_{ij} + e,$$

Où

* **u** : est la moyenne de la population,

* **g_i** : est l'aptitude générale à la combinaison (AGC) du parent femelle i,

* **g_j** : est l'aptitude générale à la combinaison (AGC) du parent mâle j,

* **s_{ij}** : est l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) du croisement $i \times j$,

* **m_i** : effet maternel général du parent i,

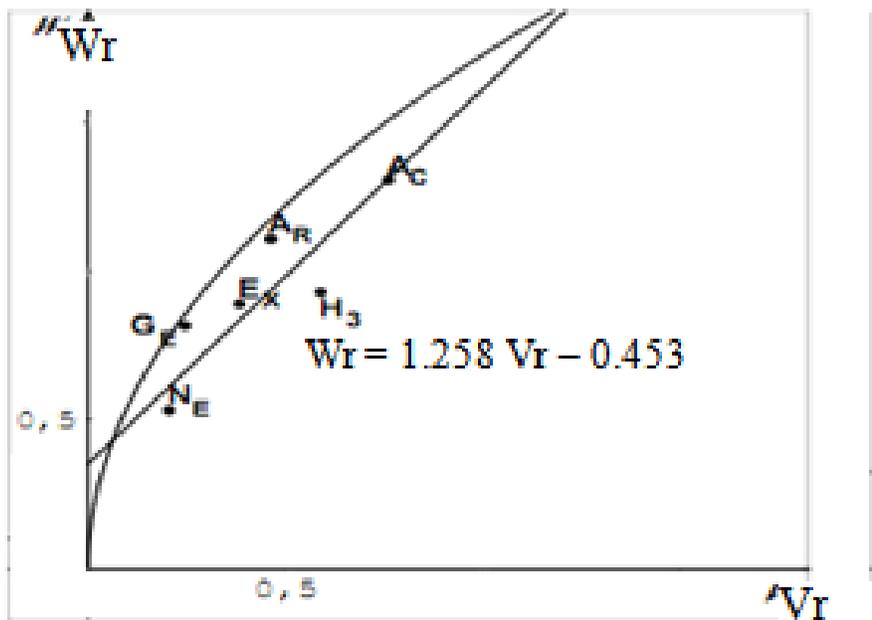
* **m_j** : effet maternel général du parent j,

* **m_i-m_j** = effet réciproque général des deux parents,

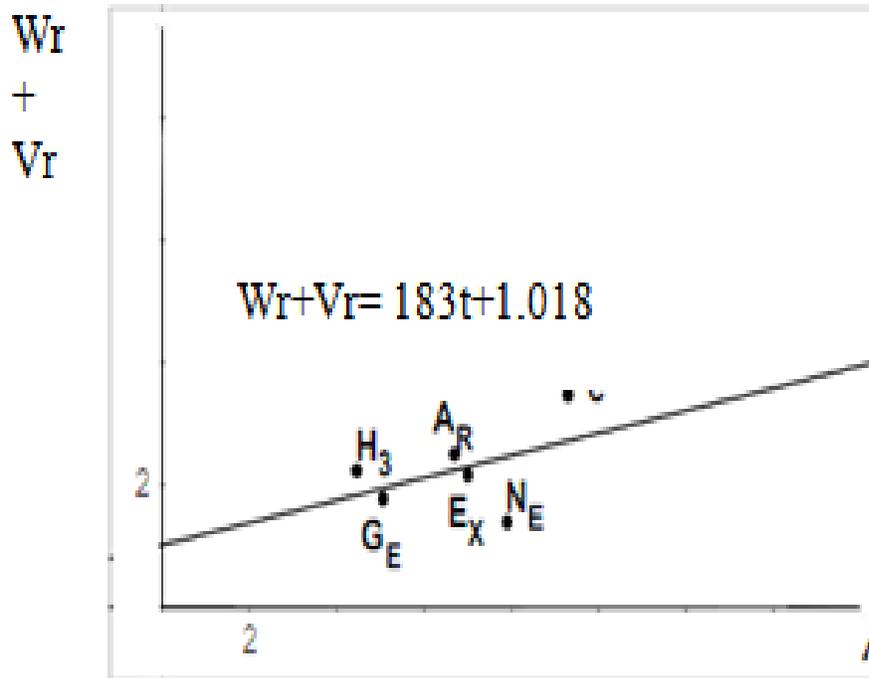
* **r_{ij}** = effet réciproque spécifique du croisement $i \times j$.

4.10. Travaux dirigés

TD : Vous avez deux figures ou courbe qui résume la méthode Hayman 1956. Donnez les explications concernant la situation des variétés sur les deux graphes.



Méthode Hyman 1956



Méthode Hayman 1956

Explications

La position du génotype Ac sur la droite de régression W_r/V_r du caractère montre qu'il possède des gènes récessifs parce qu'il est plus proche du croisement de la droite de régression et de la Parabole : $W_r^2 = V_0V_r$ à action négative et défavorable à l'augmentation du caractère. Le génotype Nefer et Guem Goum Erkham regroupent presque tous les gènes dominants à action positive et favorable à l'accroissement de ce caractère. Il n'y a pas de possibilité de transgression car la variété Guem Goum Erkham est très proche de la parabole $W_r^2 = V_0V_r$. La variété Guem Goum Erkham possède tous les gènes se trouvant chez les autres variétés.

Chapitre V

Etude variétale

5.1. Introduction

C'est grâce à la sélection végétale et les techniques utilisées que l'homme a créé plus de variétés selon son choix gustatif. Ce travail de sélection a permis d'augmenter les rendements en qualité et en quantité ce qui a amélioré les conditions alimentaires de la population mondiale. L'amélioration génétique du blé a apporté un plus estimé entre 33 et 60 % au rendement des pays européens. La sélection végétale s'est focalisée par le passé sur la l'augmentation du rendement. Des fertilisants et des produits phytosanitaires ont été utilisés à outrance ce qui a conduit à une intensification de l'agriculture accompagnée d'effets secondaires indésirables.

5.2. Variétés hybrides

La première idée est venue de Shull en 1909, grâce au croisement entre deux lignées pures en vue de reproduire à l'identique une variété intéressante d'un point de vue agronomique. Par la suite on a créé des variétés commerciales d'hybrides F₁. Ce procédé a été développé pour le maïs, aux États-Unis ; appliqué surtout aux espèces allogames et à certaines espèces autogames. Elle permet l'obtention de lignées fortement homozygotes, suivie d'une hybridation entre lignées qui manifestent une bonne aptitude à la combinaison. Ces variétés hybrides se caractérisent par leur uniformité et leur vigueur. Elles sont hétérozygotes et leur descendance très hétérogène ce qui nécessite le changement de la semence à chaque culture c'est l'exemple des cultures maraichères (poivron, tomate et courgette). Une variété de plantes de grande culture, aujourd'hui ne vit guère plus de 5 ou 7 ans. Les variétés hybrides sont le résultat d'un croisement entre deux végétaux parents. Elles sont sélectionnées pour leur résistance aux maladies à leur rusticité et à leur rendement. Le croisement de ces individus nous permet d'avoir des descendants qui cumulent les caractères des deux parents. La descendance obtenue en croisement ne peut pas reproduire les mêmes car à ce niveau il y a disjonction des chromosomes. Un hybride est un croisement entre deux variétés de lignées pures différentes. Tous les individus de la première génération F₁ sont des plants homogènes avec une vigueur importante qu'on appelle le phénomène hétérosis. Dans le cas où on sème cette première génération on constate que les plants issus de cette génération n'ont pas les mêmes caractères morphologiques et physiologiques que les plants de la première

génération F1. La première génération F1 n'est pas stable comparée à une lignée pure. Les hybrides F1 sont très utilisés dans le cas d'une résistance au bio-agresseurs, ou pour des rendements et des récoltes homogènes.

5.3. Utilisation

Les variétés hybrides ont généralement des rendements supérieurs comparés aux variétés d'origine. La sélection de nouvelles variétés à des capacités génétiques intéressantes du point de vue physiologique, morphologique dans les conditions où elles ont été sélectionnées.

De nombreux essais et études ont prouvé la supériorité des hybrides sur les populations et les lignées, quelles que soient les conditions. L'expression hybride est plus importante chez les plantes allogames (maïs, tournesol). Tandis que pour les plantes polyploïdes et autogames (céréales, pomme de terre, luzerne), l'effet est plus mince. Les variétés hybrides sont cultivées surtout où l'agriculture est intensive parce que les agriculteurs sont mieux pourvus en moyens pour répondre aux besoins de ces dernières.

Chez les paysans des pays pauvres la culture de ces variétés est possible dans le cas où ils peuvent accéder aux semences et les intrants. La mécanisation est facilitée grâce à l'homogénéisation des plantes. Les hybrides apportent des caractères intéressants pour les producteurs surtout la résistance aux maladies ou à des insectes ravageurs ainsi la précocité et la qualité des rendements.

5.4. Inconvénient d'une variété hybride

Les graines récoltées sur des variétés hybrides F₁ chez les plantes allogames ne donnent pas les mêmes rendements car la perte enregistrée en F₂ est de 20 %, cas du maïs. Cette perte est due essentiellement à la disjonction des caractères en F₂. Pour l'agriculteur il est préférable de racheter des semences chaque année car la production de semences F₁ est délicate (par exemple dans le cas du maïs que l'on peut castrer à la main, l'agriculteur doit conserver deux lignées avec un isolement de 200 m, puis croiser ces lignées chaque année en castrant celle qui servira de femelle porte graine.

Les mouvements écologiques contestent la généralisation des variétés hybrides F1.

Les graines produites sont des hybrides de la deuxième génération ne sont pas homozygotes. A chaque génération la moitié de la vigueur hybride est perdue ce qui ne

permettent aux agriculteurs pauvres de reproduire leur semence, ce qui les obligent à chaque fois d'acheter leurs semences sur le marché. D'après le directeur de la FAO, Diouf en 2014, ce système est la cause de la famine car les paysans n'ont pas de quoi acheter les graines de semence.

5.5. Variétés synthétiques

Une variété synthétique est une population artificielle dérivant de la multiplication (sexuée) pendant un nombre déterminé de générations, de la descendance du croisement naturel (synthèse) d'un certain nombre de constituants (clones, lignées, familles), choisis pour leurs caractéristiques de valeur propre et de valeur en combinaison. Cette constitution est destinée pour les espèces allogames est adoptée par le sélectionneur pendant un nombre déterminé de générations. Dans ce cas il est impossible de contrôler la pollinisation. La multiplication des structures hybrides nécessitent des précautions très importantes particulièrement l'isolement. Il est montré que les meilleures variétés synthétiques sont toujours inférieures aux meilleurs hybrides simples et à peine supérieurs (de 0 à 10%) à la valeur de la population de départ. Pour développer des variétés synthétiques, il faut investir surtout dans la sélection récurrente pour améliorer la valeur propre de la population.

5.6. Variétés populations

Une variété population appelée variété de ferme. Ces variétés sont cultivées traditionnellement, elles sont hétérogènes, elles sont formées d'un ensemble d'individus ayant des génotypes différents elles sont sélectionnés par l'agriculteur suite à leur performance vis-à-vis de leurs rendements de leur résistances aux maladies ou à leur rusticité ou aux attaques des ravageurs. Ces variétés population ne correspondent pas aux critères de sélection définis par la réglementation définies catalogue officiel et régie par les mots suivants : distinction, homogénéité et stabilité. Leur flexibilité génétique leur permet de s'adapter en fonction de l'évolution de leur environnement.

Ce sont des variétés formées généralement d'espèces allogames se caractérisent par une grande hétérogénéité. Elles présentent des caractères d'identification diverses. Les anciennes variétés sélectionnées massivement par les chercheurs depuis plusieurs siècles sont des variétés populations ex : les populations de blé dur cas des Bidi de la région de

Sétif. Les variétés anciennes de blés durs étaient des variétés population exemple : Bidi, Oued Zenati. Chez les peuplements forestiers, on trouve aussi des variétés population : certaines espèces d'Oléastres et Chemllal chez l'olivier. Les variétés population sont des variétés destinées à répondre aux besoins d'une agriculture durable ou biologique. Ces variétés sont cultivées pour leur rusticité, leur résistance et leur adaptation aux sols et climats locaux. Les paysans maîtrisent mieux la conduite culturale de ces variétés. La production de semences par l'industrie semencière ne répond pas aux spécificités des agriculteurs qui cherchent des variétés qui ne demandent pas beaucoup d'intrants. L'échange de semence de variété cultivée ne doit être vendu ou offerte que si ces variétés sont inscrites au catalogue des espèces et variétés. Des mesures sont prises à l'échelle de chaque pays afin de but d'aider à la préservation des ressources phytogénétiques et de lutter contre l'érosion génétique, et de la biodiversité agricole. C'est le cas de certaines variétés anciennes de tomates ou de blé qui sont cultivées par les paysans algériens depuis des siècles.

5.7. Variétés clones

On ne crée pas un clone, car il existe déjà. On ne fait que sélectionner parmi la diversité naturelle d'après directeur recherche de l'IFV. Une variété clone à un génotype fixe il ne forme qu'une seule plante, le génotype est le même pour l'ensemble des individus qui le forme. C'est un même phénotype multiplié à l'infini. Les variétés multipliées végétativement par la reproduction à l'identique d'un individu d'origine. Elles sont homogènes, sauf cas de mutations affectant l'un des individus cas de l'ail ou de la pomme de terre. On peut citer les espèces ornementales : arbustes ornementaux, variétés de fleurs (œillet, Bulbes, tulipe, iris), le cas des espèces forestiers et des arbres fruitiers tels que : pommier, abricotier, cerisier. Aucune perte d'allèles n'a été observée chez la pomme de terre qui se multiplie par des clones. Un clone végétal est issu d'un seul individu par multiplication végétative ou par voie sexuée, exemple les tubercules de pommes de terre ou le cas platane blanc. En arboriculture on peut créer des clones par différentes méthodes : bouturage, marcottage, greffage, multiplication cellulaire in vitro ou par l'haplo méthodes. La sélection clonale peut ne pas convenir à toutes les espèces. La sélection clonale va vers l'uniformité qui est un risque pour la diversité en cas d'attaques virale ou attaques d'insectes ou changement climatique. Il est intéressant

de poursuivre la sélection clonale en concomitance à la sélection génétique. L'objet de la sélection de plants clones c'est pour l'obtention de plants sains non virosés, homogènes, performants et donnent des rendements élevés.

Chapitre VI

Amélioration des espèces fruitières

6.1. Introduction

Depuis le 18^e siècle, on ne fait qu'apporter du fumier organique et faire la taille des arbres pour avoir de bons fruits. Vers le 20^{ème} siècle l'objectif était plus de fumures minérales et l'utilisation de traitements pesticides pour garantir une bonne fructification. Durant la même période, des travaux de recherche importants ont été menés en amélioration génétique des espèces fruitières.

Ce qui a donné de nouvelles variétés avec des caractéristiques organoleptiques et de résistance aux parasites majeurs. L'évolution des programmes d'amélioration génétique les plus importants ont touché surtout la résistance aux parasites, cas du gène majeur Vf de résistance à la tavelure (*Venturia inaequalis*). Il était intéressant de rechercher des géniteurs apportant des sources de résistance à plusieurs parasites ou ravageurs ou des plans de croisements complexes pour avoir une multi résistance. Les programmes d'amélioration génétique doivent tenir compte dans leur phase finale la caractérisation des interactions entre le bio agresseur, les génotypes, variété et le porte-greffe ainsi que le milieu.

La plupart des espèces fruitières cultivées sont des plants composites constitués de deux entités génétiques distinctes, le porte-greffe et le greffon. Pour améliorer une espèce fruitière on doit étudier la variabilité génétique des deux espèces le porte greffe et le greffon. Après la connaissance des deux espèces on peut entreprendre un travail de sélection pour la création variétale. L'amélioration génétique d'espèces fruitières ligneuses est une opération longue et délicate parce que :

- Multiplication végétative,
- Pérennité et durée d'occupation du sol,
- Longueur de la durée de la période juvénile qui est de 3 à 8 ans.

6.2. Caractéristiques biologiques des espèces fruitières

Les caractéristiques spécifiques à l'ensemble des espèces fruitières sont des espèces autogames qui montrent une biologie florale très diversifiée c'est le cas du pêcher, prunier, abricotier.

Il y a aussi des espèces autostériles : pommier, poirier et même certaines variétés de prunier. On rencontre même des espèces monoïques c'est-à-dire à sexe séparés sur le même arbre : noyer, figuier ou palmier dattier. Dans une même espèce on peut rencontrer

plusieurs niveaux de ploïdie : des espèces diploïdes ou triploïdes se rencontrent chez le pommier.

6.3. Propriétés et objectifs de l'amélioration des espèces

L'objectif de sélection pour chaque type de plantes peut être différent d'une plante ou espèce à une autre. D'une manière générale on peut résumer ces objectifs comme suit :

- Augmentation de la productivité,
- Résistance génétique des plantes, adaptation aux conditions climatiques,
- Baisser les coûts de production,
- Elargissement et diversification de l'utilisation des produits obtenus.

Nous avons constaté qu'au cours de ces trente dernières années l'évolution des végétaux à porter essentiellement sur les techniques culturales et non sur l'assortissement variétal. Les vergers modernes sont à haute densité passant de 1500 à 2500 arbres par hectare. Ceci est fonction de la taille de l'arbre, de la variété, de la forme de l'arbre et de sa mise à fruit. L'objectif d'un arboriculteur est la recherche à baisser le coût de la main d'œuvre qui représente le poste le plus onéreux. Sous la demande du consommateur et de l'industrie de transformation, l'arboriculteur cherche des variétés résistantes sans utilisation de produits chimiques et à prix raisonnable.

6.4. Stratégie d'amélioration des arbres pérennes

Après une phase assez empirique de sélection procédant par des méthodes traditionnelles. Après la sélection clonale qui nécessite un travail de longue haleine les sélectionneurs ont commencé à travailler sur le déterminisme génétique et l'héritabilité des caractères. Les clones choisis sont confrontés à la variabilité de l'agent pathogène afin de vérifier l'hérédité de la résistance du ravageur sur le clone.

- L'élargissement de la base et l'étude de la diversité génétique existante des espèces fruitières a été toujours largement utilisé pour l'amélioration génétique des porte-greffes,
- Rechercher les facteurs génétiques d'adaptation aux stress biotiques et abiotiques,
- Adapter les méthodes de sélection aux espèces fruitières (sélection précoce, caractérisation des génomes, sélection assistée par marqueurs, transgénèse) selon

les caractéristiques de pérennité, de fonctionnement de l'arbre, relation porte greffe et greffon,

- Créer des variétés innovantes et performantes et un porte-greffe répondant à la demande sociale : qualité des fruits.
- Un programme d'introgression par rétrocroisements a été lancé, cette méthode n'est pas tout à fait maîtrisée.

6.5. Progrès réalisés

L'augmentation des ressources génétiques disponibles qu'offre l'hybridation interspécifique peut engendrer un progrès significatif dans les meilleurs délais. L'inconvénient c'est que dans ce domaine reste négligeable vue le temps imparti pour l'obtention d'une variété, il faut un minimum de 20 à 25 ans pour obtenir une variété.

Les techniques de production de plants fruitiers hors sol est un atout majeur pour les améliorateurs de créer de nouvelles variétés adaptables aux conditions technico économiques du moment.

Les programmes d'amélioration génétique des portes greffes de *prunus* sont essentiellement pris en charge par des institutions de recherche publique principalement en Europe, aux USA et au Canada.

Les sociétés tels que Zaiger genetics aux USA, Catalana en Espagne ont investi dans le domaine de la recherche de l'amélioration du porte greffe et viennent peu à peu prendre place dans un domaine restreint des obtenteurs de porte greffes.

6.6. Critères de sélection

Les critères de sélection sont très nombreux et divers que le sélectionneur doit prendre en considération ont peut citer à titre d'exemple :

- Rapidité de la mise à fruits et régularité de la fructification,
- Maîtrise de la croissance et du développement,
- Résistance aux bio-agresseurs,
- Qualité des fruits et aptitudes technologiques,
- Adaptation génétique aux conditions pédoclimatiques,
- Résistance aux principales maladies et aux parasites,
- Relation porte-greffe et greffon

a. Sélection de portes greffes

Principaux critères employés dans la sélection sur les plans :

- Agronomiques :
 - Bonne vigueur,
 - Productivité et qualité du fruit,
 - Compatibilité avec d'autres variétés,
 - Tolérance au froid ou à la chaleur.
- Altérations physiologiques :
 - Chlorose ferrique ?
 - Salinité du sol,
 - Asphyxie radriculaire.

b. Exemple de critères de sélection d'un Porte-greffes hybrides d'après Pelletier de 2012:

Cas du pêcher (GF-677) :

- Améliorer la productivité et la qualité du fruit,
- Améliorer la tolérance à l'asphyxie radiculaires et aux champignons du sol,
- Résistance aux nématodes aux galles,
- Tolérance à la chlorose ferrique,
- Port dressé et avec peu de ramifications.

Cas du prunier :

- Faibles besoin de température pour anticiper la précocité,
- Tolérance modérée à la chlorose ferrique,
- Tolérance aux températures élevées,
- Résistance élevée aux nématodes,
- Vigueur moyenne élevée, croissance dressée et avec peu de ramifications.

c. Interactions porte greffe et greffon

D'une manière générale l'introgression d'un caractère est mal maîtrisée, ou est trop longue et difficile à réaliser. L'étude de cette association a conduit à la mise en évidence de certaines incompatibilités :

- Cette incompatibilité concerne les tissus du phloème du prunier et celui du pêcher qui ralentissent très fortement les transferts de glucides entre les parties aériennes et racinaires ce qui limite la croissance de toute la plante,
- Incompatibilité localisée se traduit par un défaut de jonction vasculaire porte-greffe et greffon sur deux associations, exemple de l'association porte greffe/greffon, cas de l'abricotier avec le prunier et du poirier avec le cognassier.

L'étude du déterminisme génétique bifactoriel a montré que toutes les variétés de pêcher possèdent au moins 2 allèles dominants incompatibles. L'approche génétique des mécanismes d'incompatibilité a été abordée en particulier pour les arbres fruitiers.

6.7. Application du génie génétique

Les nouvelles stratégies basées sur les nouvelles technologies telles que les variations soma clonales, induisent des variantes sélectionnées par le processus de la multiplication cellulaire in vitro. L'utilisation des protoplastes ou les haploïdes (mutagénèse, embryogénèse somatique) pour brasser l'information génétique ou créer des individus homozygotes difficiles à obtenir chez certaines espèces. Les progrès génétiques réalisés au cours de ces quatre dernières décennies a porté sur la création variétale. Des transformations sur des tissus adultes de génotypes de certains cultivars d'intérêt agronomique ont été réussies. L'expression des gènes a été vérifiée et la transmission à la descendance par reproduction sexuée a été réalisée et les mécanismes de la résistance induite ont été vérifiés. L'approche moléculaire du génome est une stratégie efficace qui se met progressivement en place. Les premiers vergers de pêchers, de pommiers ou de poiriers issus de culture in vitro entrent en production.

6.8. Homologation

En France un catalogue officiel des espèces et variétés d'arbres fruitiers a été initié en 1953. En 2003, 60 variétés portes greffes de prunus étaient inscrites sur le catalogue. Plusieurs caractères morphologiques et physiologiques sont utilisés pour distinguer les variétés suivant les principes directeurs de l'UPOV. Après deux années d'évaluation une fiche descriptive sera établie pour être acceptée. Il existe un système de certificat pour garantir l'authenticité de la variété et l'état sanitaire de scions (plants greffés).

Chapitre VII

Sélection

7.1. Introduction

Depuis la naissance de l'agriculture, le paysan sélectionne, dans ses récoltes ou dans la nature, les individus les plus intéressants et essaie d'obtenir de meilleurs produits en quantité aussi abondante que possible. Les progrès en sélection ont débuté au 19^e siècle grâce à P. Sheriff, en Ecosse et H. de Vilmorin en France après l'application de l'hybridation sur le maïs par Lecoq en 1845. L'invention de saccharimétrie en 1853 a permis l'amélioration du taux de sucre de la racine de la betterave sucrière par Vilmorin à cette époque les lois de l'hérédité de G. Mendel de 1865 n'ont été redécouvertes qu'après un siècle plus tard. La sélection généalogique a été pratiquée pour la première fois par Vilmorin en 1865 pour l'amélioration du taux de sucre de la betterave à sucre. La sélection variétale a augmenté la production des ressources agricoles à hauteur, de 47 millions de tonnes de céréales et 7 millions de tonnes de graines oléagineuses stabilisant ainsi les marchés et réduisant l'instabilité des prix. La perte d'allèles en passant des populations aux hybrides durant la sélection, avec des allèles spécifiques aux populations.

7.2. Variabilité

Le sélectionneur dispose de la variabilité présente dans les ressources génétiques et il a recours à diverses méthodes pour augmenter la variabilité. On faisant appel à d'autres espèces apparentées il agrandit la variabilité qu'il peut utiliser par la suite. C'est le cas du blé par l'exploitation de la variabilité présente chez les espèces apparentées appartenant à la tribu des Triticées. Ces ressources génétiques sont constituées de variétés cultivées, des populations locales ou sauvages ou d'espèces apparentées.

Le sélectionneur peut rassembler dans un même génotype tous les caractères intéressants par des croisements. On ne garde que les individus regroupant les caractères recherchés ce procédé peut entraîner la perte de diversité. Avec des méthodes expérimentales et l'utilisation de méthodes statistiques, il est possible de savoir l'influence de l'environnement et les effets génétiques sur chaque phénotype et s'assurer que les caractères exprimés par les individus sont bien héréditaires.

7.3. Modes de reproduction

a. Autogames

Le mode de reproduction des plantes détermine le choix de la méthode de sélection à entreprendre. Les populations autogames (blé, orge) dans la nature sont composées de plants homozygotes, l'objectif de l'amélioration de ces populations est l'isolement de lignées répondants aux critères recherchés. La sélection des plantes autogames aboutit à des variétés lignées pures.

b. Allogames

Chez les plantes allogames la reproduction se fait par fécondation croisée cas du maïs ce qui aboutit à des plantes hétérozygotes. Les allogames sont généralement hétérogènes : le sélectionneur cherche à améliorer ces populations en maintenant une certaine diversité ou privilégie l'uniformité par la création de variétés hybrides.

Les méthodes d'amélioration et le mode de reproduction ne sont pas figés car les frontières entre l'autogamie et l'allogamie ne sont pas définitives. La plupart des allogames peuvent être autofécondées et les autogames peuvent être allogames (. Les taux d'allogamie sont variables selon l'espèce, du génotype et de l'environnement.

7.4. Méthodes de sélection

a. Sélection conservatrice

Les objectifs de sélection privilégient la sélection de cultivars stables, peu exigeants en intrants, tolérants aux contraintes abiotiques et résistants aux maladies et parasites.

Pour conserver certains caractères obtenus après croisement on fait appel à la sélection conservatrice. Cette dernière ne crée pas, elle garde le matériel génétique obtenu. Elle maintient l'homogénéité parfaite des caractères génétiques d'une variété. La sélection conservatrice valorise la sélection créatrice et assure la diffusion de variétés nouvelles ou cultivées.

Elle élimine à chaque génération les variations pouvant apparaître, qu'elles soient génétiques ou accidentelles. La pureté de la variété est assurée par le contrôle continu du sélectionneur par élimination progressive des plants présentant des anomalies par rapport aux caractères original de la variété.

Ce procédé permet au sélectionneur de fournir à l'agriculteur une semence de base présentant une pureté variétale requise. Les céréales (blé, orge et avoine) sont des plantes autogames et très fortement homozygotes, le maintien de leur identité génétique est plus facile. La sélection élimine des gènes défavorables mais cela ne doit pas être considéré comme une perte de diversité génétique.

b. Sélection créatrice

Pour entreprendre un travail de sélection le sélectionneur doit avoir à sa portée une variabilité génétique à l'intérieur de la population à étudier concernant les caractères à améliorer. La recherche de variabilité se fait par des prospections dans les zones où l'espèce est plus différenciée. Le but est d'avoir une collection de génotypes variés qui seront la source de départ pour entreprendre un travail de sélection. A partir de cette collection on peut exploiter la variabilité existante par des choix entre les individus de la collection ou créer à partir de cette dernière une variabilité plus large et répandant aux objectifs fixés.

c. Sélection massale

C'est la méthode la plus ancienne elle était la base de la domestication de nos variétés locales du fait de sa simplicité et moins coûteuse. Le choix des individus se fait selon leurs caractères qui répondent aux objectifs définis (meilleurs épis, meilleurs fruits, couleur du fruit, hauteur de la plante etc.). Les graines de ces plants seront semées pour la prochaine culture. Cette opération sera poursuivie de génération en génération en vue d'augmenter la population. La méthode ne donnera aucun résultat si le caractère visé ne s'extériorise pas dans les générations suivantes, c'est-à-dire le caractère n'est pas héritable. Ce type de sélection est très efficace pour les caractères hértables.

Les plantes choisies seront semées en lignes séparées, si les individus ne ressemblent pas aux critères de sélection, toute la ligne sera supprimée. Les graines seront récoltées en mélange. On peut reconduire l'opération durant plusieurs cycles de sélection si le caractère recherché se manifeste. La sélection massale montre certaines limites :

- Le choix se fait phénotypiquement tandis que la sélection cherche le génotype,
- L'influence du milieu sur les caractères hértables.

La sélection massale regroupe plusieurs sous méthodes de sélection qu'on peut citer :

- **Sélection massale par en dessus** : Parmi les individus choisis au début on mélange toutes les graines des épis sélectionnés et on les sème dans une seule parcelle dite de multiplication. Les individus de la population seront génétiquement hétérogènes. Les individus qui montrent les caractères recherchés seront sélectionnés et ressemés.
- **Sélection massale par en dessous** : Cette méthode consiste à supprimer toutes les plantes qui ont des caractères non recherchés. Le reste des plantes seront récoltés en bulk. Cette méthode n'est pas recommandée chez une population ou une variété homogène.

d. Sélection récurrente

C'est une méthode qui ressemble à la sélection massale sauf que les croisements sont contrôlés. On ne récolte que les graines des meilleurs plants répondant aux critères de sélection. Ces dernières seront semées ensuite puis on effectue des croisements entre ces plants ce qui nous donnera une nouvelle population. L'amélioration de la population se fera grâce à une série de croisements et d'autofécondations. Les plants obtenus sont semés en lignes. L'ensemble des croisements effectués entre la descendance donnera une nouvelle population qui sera soumise à d'autres sélections.

e. Sélection généalogique (ou méthode pédigrée)

Pour éviter les difficultés que rencontre la sélection massale, Vilmorin en 1850 a inventé la méthode appelée sélection généalogique ou pédigrée. Elle est appliquée surtout chez les plantes autogames. A partir de la deuxième génération, les recombinaisons des caractères sont visibles ce qui pousse le sélectionneur à entamer le choix d'individus selon les critères fixés. Les graines de chaque plant (filiation généalogique) seront semées en lignées. Les lignées (familles) qui ne répondent pas aux caractéristiques recherchés sont éliminées. Les lignées homogènes sont retenues et multipliées pour vérifier leur stabilité dans le temps et étudier leurs caractères quantitatifs (productivité, qualité boulangère, etc.). A partir de la F3 et au cours des générations suivantes des individus seront choisis pour leurs caractères propres, mais on prend aussi en considération les performances des familles dont ils font partie. Lorsqu'une descendance est homogène pour les caractères recherchés

toute la famille est retenue et elle est éliminée en cas où elle montre une homogénéité ne cadrant pas avec les critères retenus. Il faut une séparation entre les lignées en parcelles pour réduire les risques de croisements accidentels entre les génotypes. L'observation continue sur la descendance ce qui donne au sélectionneur une bonne connaissance de son matériel, facilite l'identification des caractères à forte héritabilité.

Cependant, c'est une méthode coûteuse en travail, demandant l'observation de nombreux individus; au cours des premières générations, le niveau élevé d'hétérozygotie peut masquer des caractères récessifs. Cette hétérozygotie peut aussi provoquer l'hétérosis et rendre difficile la sélection des gènes responsables des caractères recherchés. Les lignées retenues doivent être semées sur des parcelles grandeur nature pendant deux ou trois années ou plus en vue de confirmer son homogénéité et sa stabilité dans divers conditions de culture.

f. Sélection bulk

Méthode utilisée surtout chez les plantes autogames. Pour éviter des erreurs de choix en F_2 ou en F_3 chez les plantes autogames ou leur taux d'homozygotie s'élève de 50% par génération. On préfère reporter le choix des individus après la quatrième génération. Les éliminations à ce stade ne se font que par la compétition ou par la sélection naturelle. Généralement à partir de la quatrième génération on reprend la sélection pédigrée.

g. Méthode des Filiation mono graine (Single Seed Descend : SSD)

Pour alléger la sélection généalogique et l'a contourné on ne prend qu'un épi ou graine par plant en F_2 ce procédé sera reconduit dans les générations futures. Lorsque les plants ont atteint un certain niveau d'homozygotie, on reprend la sélection pédigrée. Ce mode est utilisée surtout chez les plantes à cycle court et produisent peu de grains.

h. Rétrocroisement ou Backcross

La résistance aux maladies, la tolérance aux stress ou la stérilité peut se trouver dans une variété mais pas dans l'élite. Pour répondre à cette exigence le sélectionneur cherche à créer une lignée possédant les caractéristiques recherchées. Il doit faire appel à la méthode de rétrocroisement, encore appelé backcross. L'atteinte de l'objectif doit

passer par des hybridations entre la lignée receveuse et la lignée donneuse du caractère. Les générations sont ensuite croisées durant plusieurs cycles par la lignée récurrente. Ceci permet d'augmenter la part de la lignée élite dans le fonds génétique des descendants, tout en veillant à conserver le caractère intéressant par élimination des individus n'ayant pas le caractère désiré. Le résultat du rétrocroisement est l'obtention d'une lignée convertie, c'est-à-dire quasiment identique à la lignée élite receveuse, mais contenant en plus le caractère désiré. Les descendants du premier croisement possèdent 50% du patrimoine génétique de la lignée élite et 50% de la lignée donneuse. Lors des backcross suivants, les proportions du génotype élite augmente de 75% élite et 25% de la donneuse. Au bout du septième backcross, les proportions seront de 96.88 pour l'élite, on estime alors que la lignée obtenue est suffisamment proche de la lignée élite.

Chapitre VIII

Polyploidie

8.1. Introduction

Un changement héréditaire par l'augmentation du nombre de chromosomes d'une plante est appelé polyploïdie chez les végétaux). Un état de ploïdie est atteint lorsqu'une combinaison haploïde X se retrouve en plusieurs exemplaires chez un individu ; exemple Solanum 6 ch = $1x$; 12 ch = $2x$; 24 ch = $4x$; 36 ch = $6x$. La moitié des espèces végétales sont polyploïdes. Beaucoup d'espèces cultivées sont des allopolyploïdes (blé, avoine, cotonnier, tabac, pomme de terre). Cette état de ploïdie est atteinte grâce aux hybridations interspécifiques spontanées ou d'un dédoublement chromosomique. Le doublement du nombre de chromosomes entraîne un enrichissement génétique en rassemblant les génomes d'espèces ou de variétés différentes. L'hybridation interspécifique artificielle crée des polyploïdes à partir de leurs parents des formes nouvelles par rapport aux formes se trouvant dans la nature vers une espèce cultivée. Cette hybridation rencontre des obstacles d'incompatibilité et la stérilité des hybrides dès que les relations entre parents éloignées.

. Les chercheurs ont trouvé plusieurs techniques pour surmonter ces obstacles ex : fécondation in vitro, culture d'embryons et d'espèces ponts pour le transfert de caractères entre parents incompatibles. La monoploïdie concerne les individus qui n'ont qu'un seul jeu chromosomiques au lieu de deux (diploïdie).

8.2. Intérêt de la polyploïdie

La polyploïdie présente un intérêt agronomique, exemple : chez la betterave à sucre :

- Les espèces de betteraves à sucre à $2n = 4x$; 536 Kg de racines donnent 14.4 Kg de sucre,
- Les espèces de betteraves à sucre à $2n = 2x$; 555 Kg de racines donnent 13.5 Kg de sucre,
- Les espèces de betteraves à sucre à $2n = 3x$; 730 Kg de racines donnent 15 Kg de sucre.

La production de sucre est meilleure au niveau triploïde, mais la stérilité des plantes nécessite la reconstitution de la variété hybride chaque année.

8.3. Classification de la ploïdie :

- Autopolyploïdies sont des espèces qui ont le même génome et le même parent
 - * Diploïdes ont un génome $2n = 2x$
 - * Tétra autopolyploïdies ont un génome pair, ex : $2n = 4x$. Dans ce cas le x devient un multiple de pair,
 - * Tri autopolyploïdes ont un génome impair, ex : $2n = 1x$; $2n = 3x$. Le x devient un multiple impair. Les lignées polyploïdes sont pour la plupart triploïdes et seraient potentiellement issus de croisements entre des gamètes non réduits (probablement produits par des lignées hybrides) et des gamètes réduits.
- Allopolyploïdes : s'obtiennent par la multiplication du nombre de chromosomes par hybridation entre deux ou plusieurs espèces dont le génome est très différent.
 - * Amphidiploïdes est réalisé par le croisement entre deux espèces de la même famille exemple : *Triticum persicum* (AABB) X *Aegilops ventricosa* (DDMvMv) $2n = 28 \times 2 = 56$, ce qui donne un génotype à 56 chromosomes, c'est le triticales (Cauderon, 1978).
 - * Allotriploïdes s'obtient par le croisement entre deux espèces ou genres différents. *Triticum dicochoedes* Korn x *Aegilops ventricosa* ($2n = 28 \times 2n = 14$) AABB x DD égal *Triticum aestivum* $2n = 42$; ABD x 2 = 42 ch (blé tendre).
- Aneuploïdie : c'est forme de ploïdie qui apparait suite à la perte ou le gain de chromosomes par une espèce donnée, on peut avoir plusieurs niveaux :
 - * Monosomie cette forme est atteinte quand un génome perd un chromosome ($2nchr - 1chr$),
 - * Nulisomie cette forme est atteinte par la perte de deux chromosomes ($2nchr - 2chr$),
 - * Trisomie cette forme est atteinte par le gain d'un chromosome ($2nchr + 1chr$).

8.4. Haploïdie

Les plantes haploïdes sont des individus à un seul stock chromosomique (nchr) on peut obtenir des plants haploïdes par :

- La culture in vitro ou des cellules haploïdes (grains de pollen ou ovule) placés en milieu de culture régénère un plant haploïde,
- La culture d'anthères régénère des plants haploïdes.

a. Avantages

- Lisibilité parfaite du génome permet de déceler des mutations récessives induites par mutagenèse,
- Réalisation de l'haploïdisation par le dédoublement à la colchicine du stock chromosomique de la plante haploïde ce qui donne une plante diploïde,
- Elle permet de fixer rapidement des lignées c'est une méthode qui a été utilisée pour la sélection de certaines variétés de blé, d'orge ou du colza.

b. Principe de la technique d'haplo diploïdisation

L'haplodiploïdisation est une opération qui, à partir des gamètes mâles (microspores) ou des gamètes femelles (sac embryonnaire) obtient des plantes.

- **L'androgénèse** c'est l'obtention de plants haploïdes par l'utilisation des grains de pollen.
- **La gynogénèse** c'est l'opération qui permet à partir de gamètes femelles l'obtention des plantes haploïdes.

Les microspores polliniques sont placées en culture in vitro en vue de leur multiplication et différenciation. La plante haploïde obtenue possède un seul exemplaire de chromosomes. La duplication de leur stock chromosomique se fera avec de la colchicine ce qui nous donnera des lignées pures. Cette méthode comparée à la méthode d'hybridation nous fera gagnée plus de temps.

Chapitre IX

Mutagénèse

9.1. Généralités

La mutagenèse est la création de nouveaux caractères en induisant une modification du génome. Ces modifications peuvent porter sur les chromosomes, sur des séquences de l'ADN : délétion de morceaux d'ADN, translocation, inversion de séquences. Les changements sont induites par les rayons UV ou autres moyens. Des actions sur les séquences de base d'un gène entraînent la création des différents allèles, sources de la diversité d'expression de caractères pour un même gène. Le taux de mutation spontanée est faible dans la nature, il est de l'ordre d'1 sur 1 million au niveau d'un gène. Le troisième est le nombre d'individus cultivés par génération : un hectare de blé, peut représenter de l'ordre d'un million de grains semés en moyenne et comme on cultive chaque année 220 millions d'hectares sur la planète, ce seraient 220 000 milliards de générations individuelles et donc 33 millions de milliards de mutations spontanées produites chaque année dans cette espèce. Ce sont les mutations qui sont à l'origine de la variabilité génétique des individus chez une même espèce. Le nombre total de variétés commercialisées obtenues par mutagenèse artificielle se chiffre à plus de 3000 selon l'AIEA.

Les premiers mutants de plantes cultivées ont été obtenus par Stadler en 1928, mais sans leur donner de l'importance, c'est vers 1950 qu'un intérêt particulier lui a été accordé par certains biologistes.

A partir des années quatre-vingt, les deux modes de mutation artificielle ont été utilisés : physique avec le rayonnement ionisant (X, gamma) et chimique avec diverses molécules dont le (méthyle sulfonâtes d'éthyle. Ce type d'application ne nous renseigne pas sur les gènes touchés ce qui implique un important travail de tri dans les plantes obtenues.

Il faut noter certaines espèces végétales ne répondent aux mutations c'est le cas des espèces polyploïdes au génome très complexe exemple du blé et la luzerne. En Chine, une variété de blé résistante à l'oïdium a été obtenue grâce à la mutagenèse. On note qu'actuellement plus de 180 espèces végétales et plus de 2500 variétés obtenues par la technique mutagène. Elles sont inscrites dans les catalogues des sélectionneurs et utilisées par les agriculteurs dans le monde. Les mutations jouent un rôle déterminant dans l'évolution et la diversité des espèces. Dans le cas d'espèces à multiplication clonale, par tubercules, par bouturage ou

greffage, le cultivar à améliorer par transgénèse doit avoir une bonne aptitude à la régénération car c'est lui qui sera directement transformé.

9.2. Formes de mutations

Il existe plusieurs formes de mutations :

a. Mutation du génome

- Ce type de mutation se produit suite à la multiplication de la ploïdie par l'augmentation du niveau du nombre de chromosomes,
- Introduction dans le jeu chromosomique d'un individu des chromosomes surnuméraires (aneuploïdie). Ces phénomènes ne correspondent pas à des modifications géniques.

b. Mutation génique

Cette mutation concerne le remplacement ponctuel d'un nucléotide par un autre. Cette modification crée une modification au niveau de l'acide aminé codé ce qui peut avoir une répercussion sur la fonction de la protéine produite par le gène. Cette technique consiste à exposer la plante à l'action d'un agent mutagène pour induire des mutations et voir le résultat sur leurs descendances. C'est une technique qui a été mise en application depuis un demi-siècle. Les rayons provoquent des cassures dans le brin d'ADN. Quand la mutation recherchée est fixée au sein d'une lignée on procède aux autofécondations ou des rétrocroisements en vue de stabiliser le caractère et s'assurer que de sa stabilité dans sa descendance.

c. Mutation chromosomique

C'est une modification spontanée ou provoqué, qui entraîne un changement soit du nombre ou de la structure des chromosomes. La modification de la structure peut être causée par les faits suivants : duplication, délétion, inversion ou par translocation. On a deux types de mutations liées aux chromosomes :

- Mutation liée à une anomalie du nombre de chromosomes, sont dues à une mauvaise ségrégation des chromosomes au cours de la division cellulaire, une paire de chromosomes migre dans la même cellule fille.

- Mutation de structure réarrangement du matériel chromosomique touchant un seul ou plusieurs chromosome.

Les mutations les plus intéressantes pour l'améliorateur sont celles qui concerne un seul gène ou un petit bout (ADN).

d. Mutations germinales

Les mutations germinales concernent l'ADN des cellules souches ou gamètes. Donc l'embryon porte cette mutation dont les parents ne l'ont pas dans leur patrimoine génétique. Cette mutation survient pendant la formation des gamètes (ovule ou pollen).

9.3. Apparition des mutations

Une mutation récessive n'apparaît que si le gène est homozygote d'où la difficulté de sa détection, tandis qu'une mutation dominante est observée facilement dans la descendance directe. Dans le cas d'un caractère quantitatif ou polygéniques (rendement, cycle végétatif) il est très difficile de détecter la mutation. Ces mutants seront utilisés dans des processus d'hybridation, ce mode est le plus intéressant car il permet aux gènes mutés de s'exprimer à travers certains génotypes.

Exemple de transfert d'un mutant vers une variété améliorée :

Mutant sélectionné X variété améliorée

F₁ X variété améliorée

F₂ X variété améliorée

F₃ X variété améliorée

F₄ X variété améliorée.

Sears a pu transférer un mutant (arrangement chromosomique) d'*Aegilops* qui contrôle la résistance à la rouille jaune vers le génome du blé tendre. On peut trouver des exemples de mutations bénéfiques pour l'agriculteur : la mutation d'un seul gène transforme la pêche en nectarine, des fruits sont plats plutôt que ronds, une autre qu'ils ont une chair adhérente ou non au noyau, d'autres concernant la chair est blanche, jaune ou rouge à saveur douce ou acidulée.

9.4. Application de la mutagénèse

Les mutations spontanées sont très faibles dans la nature. Suite à l'observation d'individus dans la nature, on constate qu'ils présentent une certaine variabilité phénotypique. Cette variabilité est due aux facteurs environnementaux ou c'est le résultat de la présence d'allèles différents de certains gènes. L'émergence récente de nouvelles méthodes basées sur l'action d'une endonucléase a permis d'induire des coupures à des endroits déterminés de la séquence d'un gène. L'utilisation de cette méthode par les chercheurs a abouti à la modification de certaines espèces telles que le blé, le riz et le sorgho. Les résultats de la mutagénèse ont permis la cartographie précise d'un ensemble des gènes d'intérêt agronomique ou industriel ou alimentaires du tournesol. Les caractères introduits sont la tolérance à des herbicides, à des insectes, à des virus, au déficit hydrique, et des modifications de la qualité des produits.

Les mutagènes induisent l'apparition de mutations par trois mécanismes différents :

- Remplacement de bases par délétion (incorporation d'analogues de base azotées),
- Modification de la séquence d'AD (mésappariement, spécifique ou agent intercalant),
- Endommagement (soit par la lumière, radiations ionisantes ou des agents chimiques).

Plus de 200 000 hectares de variétés de riz destinées à la consommation étaient cultivées à partir de semences mutées au Japon en 2005. Environ 370 000 hectares de cultures de tournesol soit 56% de la production étaient issus de semis obtenus par mutagénèse. À l'échelle de la planète aujourd'hui, plus de 3 000 variétés mutantes sont officiellement enregistrées dans la base de données gérée par l'AIEA et la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).

Chapitre X

Transgénèse

10.1. Généralités

La transgénèse végétale a fait son apparition grâce aux travaux effectués sur les bactéries du sol responsable de la gale du collet de la betterave.

C'est une technique qui sert à introduire un gène étranger (transgénèse) dans le génome d'un autre organisme pour obtenir un Organisme Génétiquement Modifié (OGM). La transgénèse est l'intégration dans un génome d'une molécule d'ADN exogène. Cette molécule peut être native ou construite. Un organisme génétiquement modifié a un sens biologique très large, puisque tout être vivant est, par rapport à ceux qui l'ont engendré, génétiquement modifié par mutation et par recombinaison. Une plante génétiquement modifiée (PGM) est une plante dont le patrimoine génétique a été modifié par l'homme. Une plante transgénique est une plante dont le génome lui a été introduit par transgénèse du méristème radiculaire et foliaire un ou plusieurs gènes. En agronomie, les plantes génétiquement modifiées représentent une des dernières évolutions des méthodes d'amélioration des plantes. Les espoirs les plus prometteurs mais aussi les interrogations les plus grandes sont liées actuellement aux stratégies d'amélioration mettant en jeu la transgénèse. Les variétés transgéniques créées dans les années 90 sont arrivées sur le marché dans les années 2000. Les plantes génétiquement modifiées contribuent depuis près à mieux nourrir la population mondiale par l'augmentation des rendements agricoles tout en réduisant l'empreinte écologique des cultures.

10.2. Conditions

Pour réussir la transgénèse il faut:

- Pénétration du transgène dans les cellules-cibles,
- Transgène doit s'intégrer dans le génome de la cellule cible,
- Il doit avoir l'aptitude à s'exprimer dans la cellule c'est-à-dire produire une protéine,
- Il doit avoir la possibilité de régénération d'individus entiers à partir de la cellule génétiquement modifiée.

Les bactéries sont les pionnières dans le domaine de la transgénèse, en 1971 grâce aux travaux de l'américain Paul Berg est née par l'introduction d'un fragment d'ADN dans la

bactérie. Les plantes sont les premières à avoir été modifiées génétiquement. Les limites biologiques actuelles résident dans la complexité de certains caractères qui sont en interaction avec d'autres.

10.3. Applications médicale et industrielle

Beaucoup d'animaux transgéniques existent dans les laboratoires de recherche. Le récapitulatif de certaines applications des domaines divers :

- Production de médicaments : la production d'insuline en est un exemple. Produite dans le lait de certains animaux, elle serait beaucoup moins coûteuse et pourrait être transmise plus facilement aux personnes diabétiques,
- Xénotrans plantation: des recherches sont en cours pour produire des animaux possédant des organes qui seraient mieux tolérés par l'organisme humain, en vue d'une greffe,
- Agroalimentaire : de nombreuses études sont basées sur la production de nouveaux animaux qui auraient une croissance plus rapide et une viande de meilleure qualité, c'est le cas des saumons transgéniques, par exemple, peuvent ainsi atteindre leur taille adulte deux fois plus vite.

10.4. Techniques d'élaboration

Les techniques d'élaboration des PGM se fondent sur 4 étapes:

- La première étape consiste à identifier un gène d'intérêt sur un organisme donneur bactérie ou plante,
- La seconde étape consiste à transférer le gène d'intérêt dans les cellules végétales. On peut utiliser une bactérie du sol, *Agrobacterium*, qui a la capacité naturelle de réaliser la transformation génétique ; c'est-à-dire qu'elle peut intégrer dans le génome de la cellule qu'elle contamine une construction génétique contenant le gène d'intérêt. La méthode de transfert direct se fait soit par projection d'ADN, soit par électroporation.
- La troisième étape vise à sélectionner les cellules transformées par un test détectant la présence ou non d'un marqueur de sélection. Les cellules sélectionnées vont être régénérées pour permettre le développement de plantules qui seront

repiquées en pot. Des analyses moléculaires sur les plantes régénérées vont permettre de déterminer le niveau d'expression du gène incorporé. Si ce niveau est satisfaisant,

- La quatrième étape consiste à incorporer le gène d'intérêt dans une variété par la réalisation de croisements entre les plantes transformées et les variétés commerciales. On sélectionne ensuite dans la descendance les plantes possédant le caractère désiré et on les croise de nouveau avec des plants de la variété commerciale (rétrocroisement). On répète ce processus de nombreuses fois et ce afin d'obtenir une lignée quasiment iso génique de la variété commerciale possédant le gène d'intérêt. Le protoplaste : c'est une cellule dépourvue de sa membrane. Celui-ci prend une forme sphérique, il pourra retrouver sa forme d'origine en reformant une nouvelle paroi.

10.5. Techniques de transfert

a. Direct :

○ Electrolocation

La transformation directe consiste en l'introduction dans l'ADN d'un gène véhiculé le plus souvent par un plasmide classique, par le biais de techniques physico-chimiques.

○ Micro-injection

La micro-injection se réalise sur des protoplastes, l'opération consiste à introduire directement le gène étranger dans la cellule à modifier, à l'aide d'un micromanipulateur monté avec un microscope.

○ Biolistique

La biolistique, ou balistique biologique, est la méthode la plus courante. Elle consiste à propulser le transgène dans les cellules végétales. Il faudra environ quinze jours pour s'assurer que les nouveaux gènes introduit se sont bien intégrés au génome.

b. Indirect :

○ Transfection biologique :

Est une méthode biologique qui utilise les propriétés des bactéries. C'est une méthode plus naturelle cette méthode a permis un développement de la transgénèse végétale qui a connu son essor grâce à la découverte de bactéries: *Agrobacterium tumefaciens* et *Agrobacterium rhizogenes*.

○ **Lipotransfection :**

La technique de la lipotransfection est également une méthode directe. Cependant, seulement une minorité de ces gènes pourront parvenir jusqu'au noyau et s'intégrer par la suite au génome de la cellule, c'est pourquoi cette méthode est peu utilisée.

c. Détection d'OGM

La détection des OGM dans les aliments humains est une obligation réglementaire (directive européenne) depuis septembre 1998. La réglementation retient les protéines et ADN issus des OGM comme critère de détection. Il n'existe pas actuellement de méthode normalisée de détection des OGM. Les méthodes de détection utilisent le plus souvent la réaction de polymérisation en chaîne (PCR), qui permet de détecter n'importe quel fragment d'ADN dont on connaît la séquence.

d. Avantage de la transgénèse

Par cette technique on cherche à obtenir des :

- Plantes plus respectueuses de l'environnement et de meilleurs rendements,
- Qualité nutritive améliorée,
- Qualité organoleptique et ornementale améliorée.

L'introduction de gènes de résistance à un parasite de la plante ex : le gène Bt de résistance au virus dévastateur de la patate douce. Cette introduction du gène Bt ce qui entraîne la disparition de l'insecte essentiel à l'écosystème. Exemple l'introduction dans le riz le gène codant pour la production de beta-carotène (vitamine A) ce qui assure au paysan une meilleure sécurité alimentaire et un bon revenu. La culture de ce riz nécessite des techniques appropriées que le paysan ne peut les réalisés même la semence onéreuse ne peut l'acquérir.

Chapitre XI

Production de semences chez les céréales

11.1. Définition

La semence du mot latin sperma égal semence ou germe. En agriculture c'est la graine qu'on sème pour avoir des plants. L'agriculteur ensemence la terre pour avoir une production. La production de semences consiste à apporter au producteur un produit conservant les qualités génétiques de la variété choisie.

11.2. Semence

Les agriculteurs peuvent produire la semence destinée à reproduire leur cycle de production. Dans ce cas on parle de semence fermière quand une partie de la production va être ressemée. La semence paysanne provient d'organisations de protection de la nature et conservation de la biodiversité. La semence paysanne est appelée aussi variété locale. C'est une semence sélectionnée par le paysan suite à une sélection massale, adaptée au terroir, à son mode de production et présentant des caractéristiques qualitatives jugées intéressantes par les transformateurs ou transformatrices locales et les consommateurs. Avec l'expansion de la demande en semence il y a eu apparition d'institutions spécialisées qui ont pour tâche la production de semences pour les commercialisées aux agriculteurs, jardiniers, pépiniéristes. Les semences sont triées, calibrées, traitées et conditionnées dans des stations de semences. Après contrôles, elles sont commercialisées sous forme de semences certifiées.

11.3. Inconvénient de la semence

La réglementation dans ce domaine a pour but la garantie de la qualité de la semence pour l'agriculteur. D'après certains spécialistes dans le domaine, cette organisation va appauvrir des ressources génétiques et ne pas permettre à l'agriculteur de mener sa propre sélection et n'encourage pas une agriculture biologique. Les variétés traditionnelles et les semences ne répondant pas à la définition d'une variété auront des règles d'enregistrement allégées. Cela permet de favoriser l'adaptation de l'agriculture biologique.

11.4. Certificat d'obtention

Le certificat d'obtention végétale (**COV**) a été conçu pour s'appliquer aux nouvelles variétés végétales. Ce système vise à protéger le travail de l'obteneur (principalement les entreprises semencières produisant des variétés) tout en maintenant le libre accès à la ressource génétique pour les autres entreprises semencières. Tout en permettant aux agriculteurs de produire des semences de ferme d'une variété protégée sans demander l'autorisation à l'obteneur.

11.5. Méthodes de production

La multiplication sexuée est la première voie de multiplication naturelle des plantes. La graine provient de la fécondation de l'ovule par le pollen de la même fleur ou d'une autre.

Deux types de reproduction existent :

- Plantes autogames s'autofécondent (pollen et ovule appartenant à la même fleur ex : (blé, pois). Ce système de reproduction s'appelle l'autofécondation.
- Plantes allogames la fécondation est croisée le pollen et l'ovule appartiennent à des espèces différentes dites ex : (betterave, maïs, trèfle).

La production de semences de ces espèces ou variétés obtenues par croisements (première génération ou hybrides F1) des précautions particulières d'isolement doivent être respecté pour éviter la dérive génétique de la nouvelle semence.

En dehors de l'autogamie et de l'allogamie on trouve des espèces qui sont :

* Des régimes de reproduction intermédiaires ou mixtes c'est-à-dire qui ont un taux d'allo fécondation compris entre 10 et 90 %.

*Les espèces dites autogames ont en général un taux d'allo fécondation avoisinant des taux compris entre 0,5 % et 10 %.

11.6. Semences artificielles

La semence artificielle est la production de semences directement et artificiellement à partir d'une cellule végétale (clonée). On utilise la totipotence cellulaire en cultivant des cellules d'un explant prélevé sur la plante mère. C'est la culture in vitro.

11.7. Qualité de la semence

Les principaux critères de qualité des semences sont : la pureté spécifique, la pureté variétale, la faculté germinative ainsi que l'état sanitaire.

11.8. Pureté spécifique

C'est le nombre ou le taux de graines de plantes étrangères présentes dans la semence c'est-à-dire d'autres espèces généralement des adventices.

- Pour qu'un blé soit certifié il faut 98 % de pureté. On prélève un échantillon d'un lot de semence représentatif pour l'évaluer,
- Compter et identifier des graines d'espèces étrangères. Cette entreprise est difficile à réaliser surtout si les graines se ressemblent, c'est le cas du colza ou de la moutarde.
- Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids des semences pures dans l'espèce indiquée d'un lot donné. Ils sont comparés avec les normes officielles. Par exemple, on ne doit pas trouver plus de 10 graines étrangères aux 500 g dans le cas des céréales à paille.
- Une semence peut être refusée ou acceptée en fonction du taux de grains étrangers dans le lot : la semence pré base de blé a une pureté de 99 %.

Tableau 1 : Pureté spécifique exigée et la pureté variétale de certaines espèces

Espèces	Pureté	
	Exigée en %	Variétale %
Céréales certifiées	93	97.9
Céréales pré-base	98	99.9
Soja certifié	98	95
Tournesol certifié	97	95
Maïs certifié	97	

Activité de production de semences - ITGC

11.9. Pureté variétale

C'est le nombre de graines étrangères se trouvant dans un lot de semence d'une variété. Les graines étrangères de la même espèce mais pas de la variété recherchée. Parfois on attend au stade épiaison pour faire la différence parce que les ressemblances phénotypiques sont importantes entre les deux variétés.

11.10. Faculté germinative

Indique le nombre de germes viables obtenus dans un délai de N jours, la durée de la germination est différente d'une espèce à une autre. On place les graines dans des conditions idéales de température et d'humidité en un temps donné. Un germe est viable s'il germe dans les conditions optimales.

Tableau2. Faculté germinative de certaines espèces

Espèces	céréales	betterave	Maïs
Faculté germinative	85%	90%	80%
Durée jours	8	7	14

Activité de production de semences - ITGC : 2018

11.11. Etat sanitaire

Les graines doivent être saines. Un certificat phytosanitaire est obligatoire pour éviter la diffusion de certains agents pathogènes spécifiques à certaines espèces (blé, haricot, pomme de terre). Généralement les semences de céréales ou d'autres cultures sont traitées contre les principales maladies.

11.12. Génération de semences

Les organismes d'obtention de semences de multiplication visent à fournir un produit conforme au matériel de départ mis au point par le sélectionneur. Pour limiter les risques de dérives des variétés du sélectionneur à l'agriculteur. Les géotypes sélectionnés et acceptés pour être commercialisées doivent suivre les étapes suivantes :

- * La semence de départ est appelée G0 : il est l'étalon de la variété créée et doit rester la base de chaque processus de multiplication de semence de la nouvelle variété. Sa conformité au type original et sa maintenance sont assurées par la recherche,

- * La semence de pré base (G1, G2, G3), issue de la semence G0 et elles doivent avoir une pureté la plus élevée possible. Elles sont produites par la recherche,

- * Les semences de base c'est la G4 qui provient de la multiplication des pré bases, ce sont les semences mères des semences commerciales. Leur production est assurée par les structures semencières qui sont agréées. L'assistance technique est assurée par des organismes de recherche ou des services techniques de l'état pour le maintien et la pureté de la variété.

- * La semence commerciale ou semence certifiée est une semence de première génération ou de deuxième génération R1. Est une semence provenant de la semence de base G4 et destinée à la production de la R2, semence qui provient de la récolte de la R1.

11.13. Types de variétés :

- * **Variété lignée pure** : Est l'ensemble des descendants homozygotes de quelques plantes autofécondées naturellement ou artificiellement.

- * **Variété clone** : issue de la reproduction végétative (comme le bouturage ou le marcottage), tous les individus sont alors strictement identiques, cas des variétés de pomme de terre.

***Variété population** : des variétés sélectionnées par les communautés rurales (on parle également de variétés paysannes) ou variétés du terroir.

***Germoplasme** : Souvent synonyme de matériel génétique. Ce terme désigne la semence ou tout autre matériel à partir duquel les plantes se multiplient.

***Écotype** : population d'une espèce donnée qui présente des caractéristiques, nouvelles adaptées à un type de milieu particulier. Les caractéristiques propres à l'écotype sont héréditaires.

***Variétés composites** : La première génération obtenue par croisement au hasard d'un grand nombre de parents spécifiés.

11.14. Brevets d'obtention

***Brevet** : Un brevet est un titre de propriété qui confère à son titulaire un droit exclusif d'exploitation sur l'invention brevetée pour une durée limitée.

* **Certificat d'Obtention Variétale** :

Contrairement aux brevets, la protection par les **COV** n'octroie pas de droit absolu sur l'utilisation des semences, leur culture et leurs nouvelles sélections. Elle ne donne un monopole aux entreprises que pour la multiplication commerciale et la vente sur le marché des semences. Les agriculteurs restent libres de conserver les semences de leurs propres récoltes.

L'Accord de Bangui institué de 1977, l'Organisation Africaine de la Propriété Intellectuelle (OAPI) a pour mission de réglementer la protection intellectuelle de ses pays membres.

11.15. Contraintes de production de semence céréalière en Algérie

Ces contraintes sont nombreuses et se situent à plusieurs niveaux :

- Niveau organisationnel,
- Gamme variétale restreinte, les nouvelles variétés ne sont pas connues par les fellahs,
- Production et qualité, encadrement insuffisant, matériel vétuste,
- Circuit de distribution (ITGC/OAIC) lourd s'ajoute à ces difficultés les prix élevés de la semence.

11.16. Critères d'analyse de la semence certifiée fixés par l'ITGC

Types d'analyses pourraient être réalisés au niveau du laboratoire de l'ITGC.

Analyses	Objectifs
Pureté spécifique	Évaluation de la qualité physique
Teneur en eau	Appréciation de la capacité de conservation et la valeur d'utilisation <ul style="list-style-type: none"> • une semence humide peut perdre plus rapidement son pouvoir germinatif • une semence trop sèche peut être plus fragile lors des manipulations
Poids de 1000 grains	Pour déterminer la densité de semis
Poids spécifique (Poids Hectolitre)	Evaluation de la valeur meunière d'un blé
Pouvoir germinatif	Déterminer le potentiel de germination maximal pour estimer le taux de levée au champ.

ITGC www.itgc.dz/index.php/domaines

Conclusion

Le cours que j'enseigne en L3 spécialité filière agronomie, spécialité production végétale est structuré sur les chapitres suivants : (Notions sur l'amélioration des plantes, Signification de l'hérédité polygénique, Structure des populations et régime de reproduction, Hybridation, Etude variétale, Amélioration des espèces fruitières, Sélection, Polyploïdie, Mutagenèse, Transgénèse, Production de semences chez les céréales).

Ces chapitres ouvrent à l'étudiant la possibilité de mieux comprendre l'amélioration des plantes son évolution en tant que science et ses bases qui sont la génétique et les nouvelles biotechnologies et bio statistiques.

Pour comprendre l'amélioration des plantes l'étudiant doit maîtriser la génétique la statistique et les nouvelles technologies. L'application des nouvelles technologies ont donné un essor considérable à la compréhension et l'évolution de l'amélioration des plantes ce qui a permis à l'obtention plantes : plus respectueuses de l'environnement et de meilleurs rendements, avec des qualités nutritives améliorées ainsi que de meilleures qualités organoleptiques et ornementales améliorées.

Références bibliographiques

- Anonyme (2009).** Dossier Prear. Production de semence en Algérie.
- Bataillon T. (2004).** Mutation spontanée et gestion des ressources génétiques. Approche théoriques et expérimentales sur le blé dur (*Triticum durum*). Thèse de docteur de l'INAPG.
- Baudouin J.P, Demol J. Lonant B.P. Marechal B. Otoul E. (1998).** Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées. pp. 7-137.
- Béclin C. Vaucheret H.** m/s n° 8-9, vol. 17, août-septembre 2001
L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde, 2006. Rapport FAO.
- Bœuf F. (1948).** Objectifs de la recherche agronomique, méthodes d'expérimentation. Nouvelles encyclopédies agricoles. P. 481.
- Bonjean A. (2000).** L'histoire des blés des limagrain d'Auvergne. Ed. Limagrain. p 98.
- Boufenar F.Z. et Zaghouane O. (2004).** La production de semence de pré base de céréales période 1994/2003, Amélioration des performances et consolidation du programme de multiplication. Rev. Céréaliculture p. 5-12.
- Boufenar F.Z, Haouche L. Hadj Moussa K. (2011).** L'évolution de la production semencière et des performances du programme de multiplication de pré-base et de base des céréales de 2007-2011. Rev ; Céréaliculture 57, p.5-17.
- Bustarrat J. (1944).** Variétés et variations. Annales agronomiques, 14, 336-362.
- Caboche M. (2001).** Plantes transgéniques. Pour le meilleur ou pour le pire. T395, p.41-52.
- Casse-Delbart F. (1996).** Les plantes transgéniques en agriculture. Transgénèse végétale. Ed. Libbey. p.129.
- Chrispeels, M. J. & Sadava, D. E. (2003).** Plants, genes, and crop biotechnology.

2nd edit.1 vols, Jones and Barnett, Boston.

Demarly Y. (1977). Génétique et amélioration des plantes, Masson, Paris, p. 287.

Demarly Y. Sibi M. (1996). Amélioration des plantes et biotechnologies. Edition John Libbey ; Euronext-AUPELF, London-Paris151p. ISBN n° (2) 742-1026.

Dosba F. 2000. Objectifs et stratégies pour l'amélioration génétique chez les espèces Fruitières. Vol. V (101) - 2000.

Dosba F. Lespinasse Y. (2002). L'amélioration des arbres fruitiers. Quarante ans d'amélioration des plantes. Le sélectionneur Français (53), p. 115-125.

Douce, R., Casse, F., Gaillardin, C., Kuntz, M., Madjar, J.-J., Pelletier, G., Rérat, A., Valay, J.-G., Weil, A., Le Douarin, N., Le Buanec, B. & Plages, J.-N. (2002). Les plantes génétiquement modifiées. Rapports sur la science et la technologie (Sciences, A. d., Ed.), 13, Lavoisier, Paris

FAO, (2001). Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Rome. http://www.fao.org/biotech/inventory_admin/dep/default.asp

Franck Curc, Camille Jaque Moud, Marion Heuzet (2013). Les climetentines et autres petits agrumes. Ed Quae. 363 p.

Gallais A. (1974). Sur la signification de l'AGC. Station d'amélioration des plantes fourragères. INRA de Lusignan p. 11.

Gallais A. (1990). Théorie de la sélection en amélioration des plantes, Masson, Paris, 588 p.

Gallais A, et Ricroch A. (2006). Plantes transgéniques : faits et enjeux. Ed. Quae, p.288.

Gallais A. (2011). Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes. Ed. p.280.

Gaufichon L. Jean-Louis Prioul Bernard Bachelier (2010). Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse. 60P. <http://www.fondation-farm.org>.

Grison C. (1983). La pomme de terre caractéristiques et qualités alimentaires. Institut technique de la pomme de terre. 291 p.

Guide mon jardin et maison. Cultiver les agrumes. 80 p.

Hervé Vaucheret. L'inactivation épigénétique post-transcriptionnelle chez les végétaux : un mécanisme de résistance aux virus.

Khaldoun A. Bellah F. Mekliche L. (2006). L'obtention variétale en Algérie. Cas des céréales à paille. p.1-80.

Jean Yves Peron (2004). Production légumière 2^e édition.

Jean Claude Desvigne. 2007. Maladies à virus des arbres fruitiers. Ctfil, 201 p.

Jean Bretaudeau et Yves F. (2005). Atlas d'arboriculture Fruitière V1.

Kempf, H. 2003. La guerre secrète des OGM. Seuil, Paris.

Lamont P. et Erroux J. (1961). Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord. Inventaire des blés dur rencontrés et cultivés en Algérie. p.93 Série N°5.

Mazoyer, M. (2002). Protéger la paysannerie pauvre dans un contexte de mondialisation. World Food Summit - FAO. <http://www.fao.org/worldfoodsummit/msd/Y1743f.pdf>

Mekliche L. et Gallais A. (1999). Hétérosis genetic effects and value of F2S and doubled haploid lines in barley breeding. Rev. Agronomie. P 509-520.

Messien C.M, lancard D. Roucel F. Lafon R. Les maladies des plantes maraichères. INRA 552. P.

Michelle Vilain, 2000. La production végétale, les composantes du rendement de la production. 3eme édition. P418.

Monet R. (1992). Le pêcher. Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. INRA, 768 : 595-604.

Nauson A. (2005). Génétique et amélioration des arbres fruitiers. Presse agronomiques de Gembloux ASBL. Pp. 657.

Ollitroult P. Dambrier D. Allent V. Luro F. (1997a). Embryo rescue and spontaneous triploids selection in *C. reticulata* (Clementine) for easy peeler breeding. Proceedings of the VIII congress of the international society of citriculture. Sun City Resort, South Africa 12-17 may 1996. 254-258.

Pelletier G. (2012). La transgénèse végétale et ses limites : biologie et techniques. Séance de l'Académie d'Agriculture de France.

Prévost J. (2015). Mutagenèse : comment des plantes mutantes finissent dans nos assiettes.

Ravelonandro M. Scorza R. Renaud R. et Salesses G. (1997). Transgenic plums resistant to plum poxvirus infection and preliminary results of cross hybridization. *Acta Horticulturae*, 67-71.

Roussel R. Robert Y. et Crossier J.C. (1996). La pomme de terre amélioration, ennemis, maladies et utilisation. 607 p.

Séralini, G.-E. (2000). OGM, le vrai débat. Dominos, Flammarion.

Shelton, A. M., Zhao, J. Z. & Roush, R. T. (2002). Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of bt transgenic plants. *Annu Rev Entomol* 47, 845-81.

Simon M. (1999). Les variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivées en France au cours du XXe siècle et leurs origines génétiques. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 85(8), 5-26.

Site FAO, sur les plantes génétiquement modifiées et les PVD

http://www.fao.org/biotech/inventory_admin/dep/default.asp

Soltner D. (2001). L'amélioration des plantes. Les bases de la production végétale, tome III la plante et son amélioration. Collection sciences et techniques agricoles. P. 243-288.

Soltner D. 1979. Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale T1.

Valdeyron G. (1961). Génétique et amélioration des plantes. Baillièrè, Paris, p. 374.