



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Constantine1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

Université de
Mentouri, Constantine1,
Faculté Des Sciences de la Nature
et de la Vie
Département DE Biologie et
Ecologie vegetale

cours de L3 BPV
Matière:
Amélioration génétique
des plantes



Préparer par:
Dr HAMMOUDA-BOUSBIA Dounia

Année 2020- 2021

SOMMAIRE

Chapitre I: Les bases théoriques de l'amélioration des plantes

I.1 La variabilité génétique.....	4
I.1.1 Origine de la variabilité génétique.....	4
I.1.2 Nature de la variabilité génétique.....	4
I.1.3 Les différents types de la variabilité génétique.....	5
I.2 Rôle des mutations dans la variabilité génétique.....	6
I.3 Les concepts du gène et de l'espèce.....	7
I.3.1 La notion d'un gène	7
I.3.2 L'espece .végétale.....	9
I.4 Ressources phytogénétiques	10
I.5 Evolution dans les populations et syndrome de domestication	11
I.5.1 Les consequences de la domestication des plantes.....	13
I.5.1.1 La perte de biodiversité.....	14
I.5.1.2 La modification des pratiques culturelles.....	16

Chapitre II : La diversification de la génétique et amélioration des plantes

II.1Génétique Mendelisme.....	20
II.1.2 Lois de distribution des caractères héréditaires : analyse mendélienne.....	21

II.2 Génétique quantitative	23
II.2.2 Mesures de la variabilité.....	24
II.2.2.1 Les paramètres statistiques d'une population.....	27
II.3 Les mutations géniques	27
II.3.1 Les différents types de mutation.....	28
II.4 Les variations chromosomiques .	30
II.4.1 Les variations de type nombre.....	30
II.4.1.1 Euploidie et polyploidie.....	30
II.4.1.2 Aneuploidie.....	36
II.4.2 Les variations de type structure.....	40

Chapitre III : Techniques d'amélioration des plantes

III.1 la sélection végétale.....	46
III.1.1Le principe de la sélection végétale (artificielle).....	48
III.1.2Les étapes de la sélection artificielle.....	50
III.1.3Les objectifs de la sélection artificielle.....	51
III.2 La maîtrise de la reproduction en amélioration des plantes.....	52
III.2.1Les modes de reproduction	53
III.2.1.1 Autogamie (pollinisation directe)	53
III.2.1.2 Allogamie (pollinisation croisée)	54
III.2.1.3 La reproduction asexuée (apomixie).....	56

III.2.1.4 La propagation végétative (multiplication végétative).....	58
III.3 Les Techniques d'amélioration des plantes	59
III.3.1 Amélioration des plantes autogames	59
III.3.1.1 Selection généalogique=Sélection Pedigree	60
III.3.1.2 Sélection Bulk	62
III.3.4 L'obtention d'une lignée pure à partir d'une plante hétérozygote.....	63
III.3.2 Amélioration des plantes allogames.....	64
III.3.2.1 L'hybridation	65
III.3.2.1.1 Création des variétés hybrides.....	65
III.3.2.1.2 Création des variétés synthétiques.....	69
III.3.2.2 La selection récurrente	70
III.3.2.3 Le rétrocroisement	70
III.3.2.4 incompatibilités et stérilité male	72
• Stérilité mâle cytoplasmique.....	73
• Création de la lignée mâle stérile	74
• Production d'hybride	75
III.3.3 Amélioration des plantes à multiplication vegetative.....	75

Chapitre V : Techniques recentes de sélection

VI.1 culture invitro	78
VI.2 Sélection par haploïdie	80
VI-3 Le sauvetage d'embryons.....	81

VI.4. Mutagénèse	82
VI.5 Hybridation somatiques.....	84
VI.6 Selection assisté par les marqueurs moléculaires	85

Chapitre VI : Exercices d'application (TD)

TD1	90
TD2.....	91
TD3.....	92
TD4.....	93
Références bibliographiques	94

Objectifs de l'enseignement :

Les connaissances développées dans le cadre de cette **Unité fondamentale** sont les suivantes :

- Influence de la variabilité génétique, de sa nature (mendélienne, quantitative...), sur l'expression d'un caractère phénotypique.
- Influence du mode de propagation sur la stabilité génétique des variétés.
- Schémas de sélection mis en œuvre en fonction du mode de reproduction (autogame, allogame) et du cycle de vie des plantes d'intérêt.
- Relations entre génotype et phénotype, les méthodologies disponibles : cartes génétiques, recherche de loci à effets quantitatifs (QTLs).
- La création variétale aujourd'hui : la mutagenèse, la sélection assistée par les marqueurs, culture invitro et l'hybridation somatique..
- Aspects réglementaires liés à l'inscription au catalogue officiel et à la diffusion de nouvelles variétés.
- Sensibiliser les étudiants aux aspects se rapportant à l'intérêt et aux enjeux des ressources génétiques, aux aspects de la prospection et de collecte, à l'évaluation, la conservation, la gestion et enfin, à la circulation des ressources.

-

Compétences à acquérir

1. Faire le bilan de ses connaissances et les confronter aux données existantes pour justifier une question scientifique posée..
2. proposer un protocole apte à répondre à la question posée.
3. Observer et décrire des résultats, des objets, des faits avec un regard critique pour s'approprier une réalité.
4. mettre en relation des données, des faits, etc. pour dégager et différencier des des corrélations.
5. Interpréter les données analysées en les intégrant dans un contexte global, et savoir proposer des perspectives.

Chapitre I:

Les bases théoriques de l'amélioration des plantes

Chapitre I: Les bases théoriques de l'amélioration des plantes

Le monde vivant se caractérise par une grande **variabilité** (ou **diversité**) des espèces et des individus en leur sein. L'apparition de nouveaux caractères est en lien avec des modifications de l'information génétique, soit naturellement par hybridation naturelle et /ou artificielle interspécifique et intra-spécifique des espèces, par implication du phénomène mutagénèse.

La sélection naturelle diminue la variabilité génétique d'une population en enlevant certaines combinaisons génétiques défavorables dans le milieu où elles se produisent. Cependant elle peut aussi maintenir à une fréquence stable, des nouveaux variants génétiques, sans pour autant éliminer les anciennes versions. C'est le cas pour l'allèle de la drépanocytose. La sélection naturelle participe donc à l'augmentation de la diversité génétique.

La plus part des populations dans la majorité des espèces présente une importante diversité génétique entre leurs individus.

I.1 Origine de la variabilité génétique

Trois phénomènes sont à l'origine de la variabilité génétique et ces eux qui maintiennent cette diversité :

- les mutations** qui introduisent de nouveaux allèles dans la population.
- la dérive génétique** qui permet les changements aléatoires de la fréquence des allèles, pouvant être sélectivement neutres.
- la sélection naturelle** qui est directionnelle et permettant de changer les allèles.

I.2 Nature de la variabilité génétique

Pour la commodité de présentation la variation génétique est habituellement distinguée en variations discontinue et continue.

1) **Variation discontinue** : Génétique mendélienne (G. qualitative) : • Caractères facilement identifiables, mais difficilement mesurables. Exp. Couleur de la fleur, sensibilité ou résistance nette à une maladie. Ces caractères sont fréquemment appelés mendéliens simples car ils correspondent aux premiers caractères étudiés

par le généticien Mendel (Caractère rond ou ridé du poids...). • Caractères contrôlés par un faible nombre de gènes dont les effets sont peu ou pas influencés par l'environnement.

2) **Variation continue:** Génétique quantitative: La variation continue concerne les caractères dont les différences sont plutôt de degré que de nature. • Caractères dont la variation est mesurable : exp. Rdt, taille, précocité...etc. • Ces caractères peuvent être transmis aux descendants (homozygotes et hétérozygotes).

Caractères contrôlés par un nombre important de gènes à effets cumulatifs (dont on ne peut déceler les effets individuels) et il est nécessaire de recourir à des méthodes statistiques pour leurs analyses. • Une grande partie de la variabilité observée pour la plupart de ces caractères est due à des effets de l'environnement. • Caractérisée par une variation continue « gamma continue ». Exp. Nilson-Ehle, en 1910, avait développé un modèle permettant d'illustrer l'hérédité quantitative : Exemple de ségrégation transgressive La variation discontinue est évoquée pour les **caractères qualitatifs**, parce qu'ils sont contrôlés par faible nombre de gènes et souvent difficilement mesurables :

Exemple : couleur des fleurs, sensibilité, résistance à une maladie, absence d'organe

L'exploitation de la variabilité génétique des plantes est importante dans la sélection végétale. C'est un outil d'amélioration des plantes : l'introgression des gènes importants contrôlant des caractères désirables dans les plantes cultivées a pour conséquence la production d'individus bien adaptés, homogènes et stables.

I.3 Les différents types de variabilité génétique

I.3.1 1 La variabilité génétique moléculaire

Exemple 1 : les différents systèmes sanguins ABO. Les différents allèles IA- IB – ii.....

1.3.2 La variabilité chromosomique

Une très grande variation chromosomique (formes et structures) est détecté par plusieurs chercheurs et ceci grâce aux mutations (les inversions, les additions, les translocations et les délétions).

Il existe deux types de facteurs qui permettent d'augmenter ou de diminuer la variabilité génétique (voir le tableau suivant).

Tableau 1: Les différents facteurs agissant sur la variabilité génétique.

Facteurs augmentant la variabilité	Facteurs diminuant la variabilité
-Sélection naturelle. -Les mutations génétiques. -Les phénomènes de recombinaison génétique.	-La sélection naturelle. -L'endogamie -La dérive génétique amplifiée par une diminution de la taille d'une population.

I.4 Rôle des mutations dans la variabilité génétique

Les mutations spontanées sont responsables de la diversité des espèces végétales actuelles. Au cours du temps, l'homme a utilisé les mutants favorables au fur et à mesure de leur apparition. Cette phase se poursuit de nos jours pour nombre d'espèces. Il est important de dresser une liste des mutations spontanées qui ont été intégrées au processus de sélection et d'amélioration des plantes.

La mutagenèse permet d'obtenir une variabilité génétique nouvelle dans une espèce par accélération du processus naturel (Kingsbury N., 2009).

La création de la variabilité génétique, et donc de la diversité des espèces, et l'évolution de ses caractères différents (caractères morphologiques et géniques), est due du phénomène de mutation (figure 1).

- Mutations de nanisme chez les céréales : blé, riz, ...etc.
- Mutation de port et de remontée de floraison chez le rosier.



Figure 1: obtention des variétés de l'oignon, de betterave et de carotte à partir des Mutations de forme et de couleur, induite par OGM

I.5 Les concepts du gène et de l'espèce

I.5.1 La notion d'un gène

Notion de liaison génétique par Morgan (1911). Il démontre que les gènes sont disposés de façon linéaire sur les chromosomes et que de plus, lorsqu'ils sont situés sur le même chromosome, ils sont transmis à la descendance comme une seule unité. On dit qu'ils sont liés.

Le gène est une unité du matériel génétique : sa structure fine est constitué des exons (portions codantes) et des introns (portions non codantes)

Un **intron** est une portion de gène, le plus souvent non codante, qui ne se retrouve pas dans l'ARN cytoplasmique après épissage. Il s'oppose à l'exon.

Chez les organismes eucaryotes, les gènes qui codent les protéines sont constitués d'une suite d'exons et d'**introns** (comme dans *intrusif*) alternés. Par exemple : Exon1 - Intron1 - Exon2 - Intron2 - Exon3 - .Après la transcription, l'ARN synthétisé va subir un certain nombre de modifications, dont l'épissage, au cours duquel les introns vont être excisés de l'ARN. Les exons vont quant à eux être suturés pour donner l'ARN mature par le mécanisme d'épissage. On obtiendra donc un ARN de type Exon1 - Exon2 - Exon3 - ...

Les introns ne jouent donc aucun rôle dans le devenir de l'ARN (traduction en protéine pour l'ARNm, en ribosome pour l'ARNr, traductionARNt...), si bien que leurs fonctions ne sont pas très bien déterminées à ce jour. Leur rôle le plus important est, pour ce qu'il est possible d'observer à ce jour, de permettre une combinatoire lors de l'épissage. Cela permet aux gènes à ARNm de coder plusieurs protéines, ce qui représente une économie d'énergie pour la cellule, surtout lorsque la transcription se fait à haute fréquence.

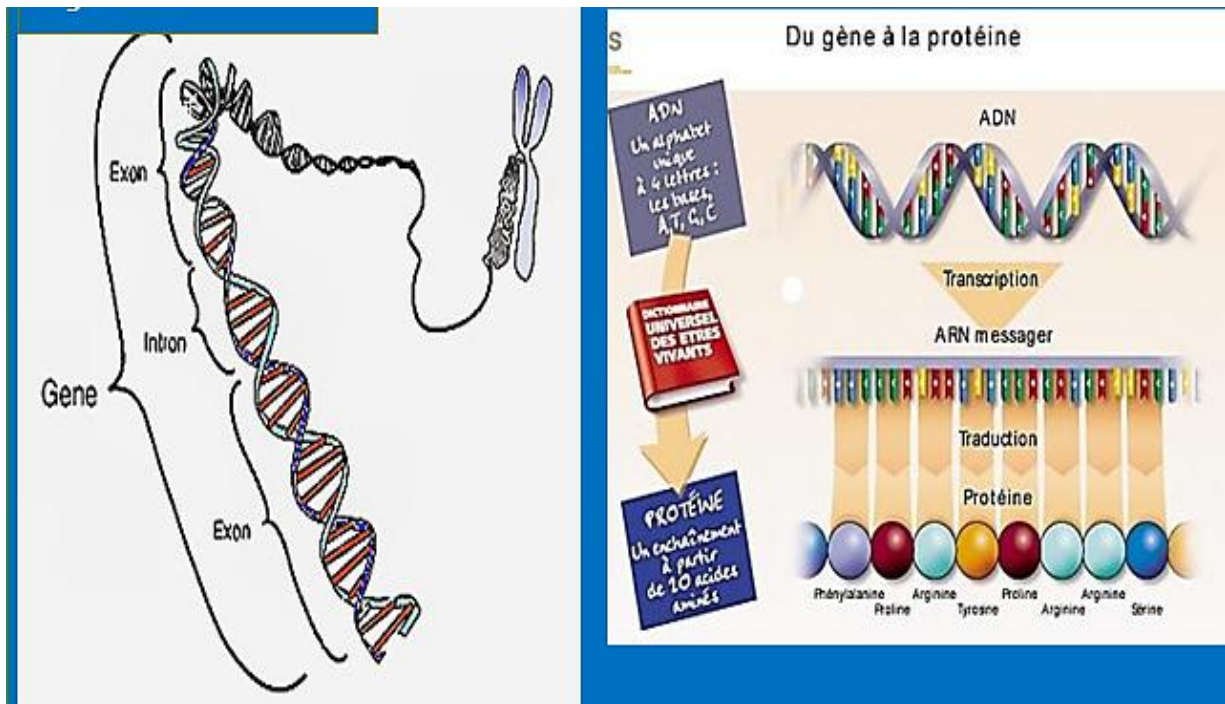


Figure 2: Structure fine d'un gène (à gauche), du gène à la protéine (à droite).

Fonctions d'un gène

Un gène possède donc une position donnée dans le génome d'une espèce, on parle de *locus* génique.

Au cours de la vie de la plante, , des gènes peuvent acquérir des mutations dans leur séquence nucléotidiques ou dans leurs régions régulatrices, comme des SNP (modification d'un nucléotide) ou des INDEL (ajout ou retrait de nucléotides). Si ces mutations se transmettent, elle entraineront la présence au sein de la population de différents allèles du gène ou de la région régulatrice, et participeront à la diversité génétique de la population. L'ensemble des allèles des gènes et des régions régulatrices d'un individu constitue son génotype. Au cours du temps, ces allèles subissent la pression de la sélection naturelle et leur fréquence peut varier sous l'effet de la dérive génétique.

Le gène joue les rôles suivants:

- l'expression en phénotype.
- Responsable des mutations .
- Il induit les recombinaisons génétiques.

1.5.2 La notion de l'espèce végétale.

espèce est une population ou un ensemble de populations dont les individus peuvent potentiellement se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde, dans des conditions naturelles. Ainsi, l'espèce est la plus grande unité de population au sein de laquelle le flux génétique est possible et les individus d'une même espèce sont donc génétiquement isolés d'autres ensembles équivalents du point de vue reproductif.

Les **critères de reconnaissances** sont : biologiques, les critères morphologiques, et les critères phylogénétiques.

La **spéciation** résulte de la **sélection naturelle** qui est le moteur de l'évolution. C'est la conséquence de l'évolution.

Les espèces s'individualisent à partir d'une population appartenant à la même espèce.

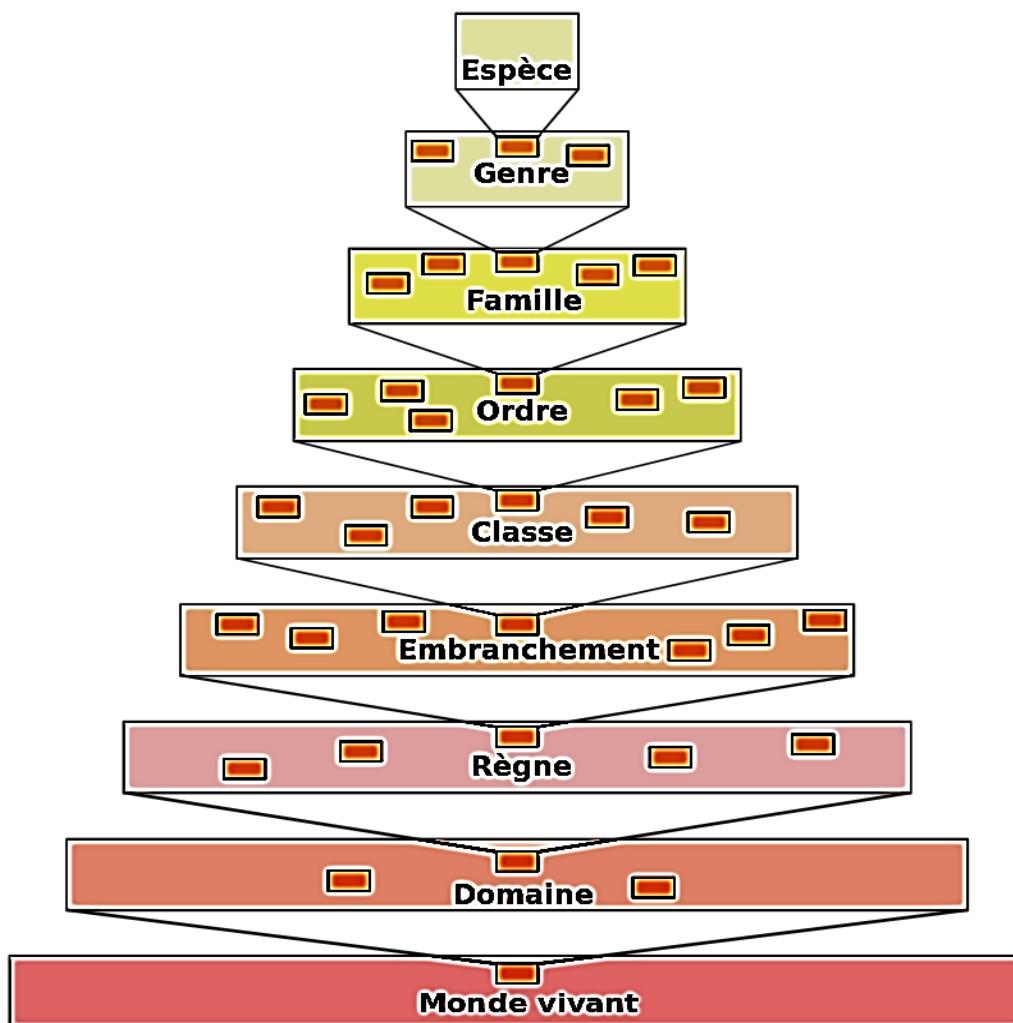


Figure 3: L'espèce est l'unité de base de la classification du vivant.

I.6 Ressources phytogénétiques

Les ressources génétiques sont, selon la Convention sur la diversité biologique (CDB), un matériel génétique ayant une valeur effective ou potentielle.

Elle est liée à la diversité génétique et fonctionnelle des patrimoines génétiques des sous-populations, populations et métapopulations de chaque taxon. Bien que non nommée, elle a joué depuis des milliers d'années un rôle important dans l'agriculture, l'élevage, la pisciculture et la sylviculture, et de plus en plus pour les biotechnologies et les domaines utilisant la transgénèse ou la sélection dirigée sur la base de méthodes scientifiques depuis quelques décennies. Dans le domaine agricole, le terme agrobiodiversité recouvre bien la notion de ressource génétique ¹.

I.7 Evolution dans les populations et syndrome de domestication

Les végétaux ont évolué en atteignant des niveaux croissants de complexité, depuis les premières algues, en passant par les bryophytes, les lycopodes et les fougères, jusqu'aux complexes gymnospermes et angiospermes actuels.

La domestication des plantes est un processus de sélection artificielle qui s'oppose à la sélection naturelle. Ce processus a débuté il y a 10 000 ans avec l'agriculture.

On accorde généralement à Jean Pernès (1983), puis Jack Harlan (1987) d'avoir précisé et développé ce concept du syndrome de la domestication (Chauvet, 2008). Le constat fait par ces auteurs est qu'une **évolution convergente** caractérise la relation qui s'est opérée entre les populations humaines de chasseurs-cueilleurs et les plantes sauvages qui ont été progressivement domestiquées, sont entrées progressivement dans la maison (latin, *domus*) des humains. Quels sont les traits caractéristiques de cette évolution convergente.

- perte de dormance des graines
- suppression des mécanismes de dispersion (indéhiscence)
- maturité groupée
- changement du système de reproduction
- changement du niveau de ploïdie
- gigantisme
- changement du port de la plante
- changement de forme de vie (annualisation des vivaces ou bisannuelles)
- changements biochimiques
- changements physiologiques (p ex modification de la photopériode)

M Chauvet, 2008

Essentiellement des pertes de fonction, donc des mutations récessives, d'où leur meilleure expression chez des plantes autogames (ou à reproduction végétative). M-A Selosse, 2012

L'évolution est un processus qui concerne une population dans son ensemble et non pas un individu donné. **C'est l'expansion de ces phénotypes au sein d'une population qui constitue une évolution.**

Exemple

L'évolution la plus récente est celle des graminées, groupe qui est devenu important au milieu du Tertiaire, il y a environ 40 millions d'années. Les graminées, comme de nombreux autres groupes, ont créé de nouveaux mécanismes métaboliques pour survivre au taux relativement faible de CO₂ ainsi qu'aux conditions sèches et chaudes des régions tropicales au cours des 10 derniers millions d'années (figure).

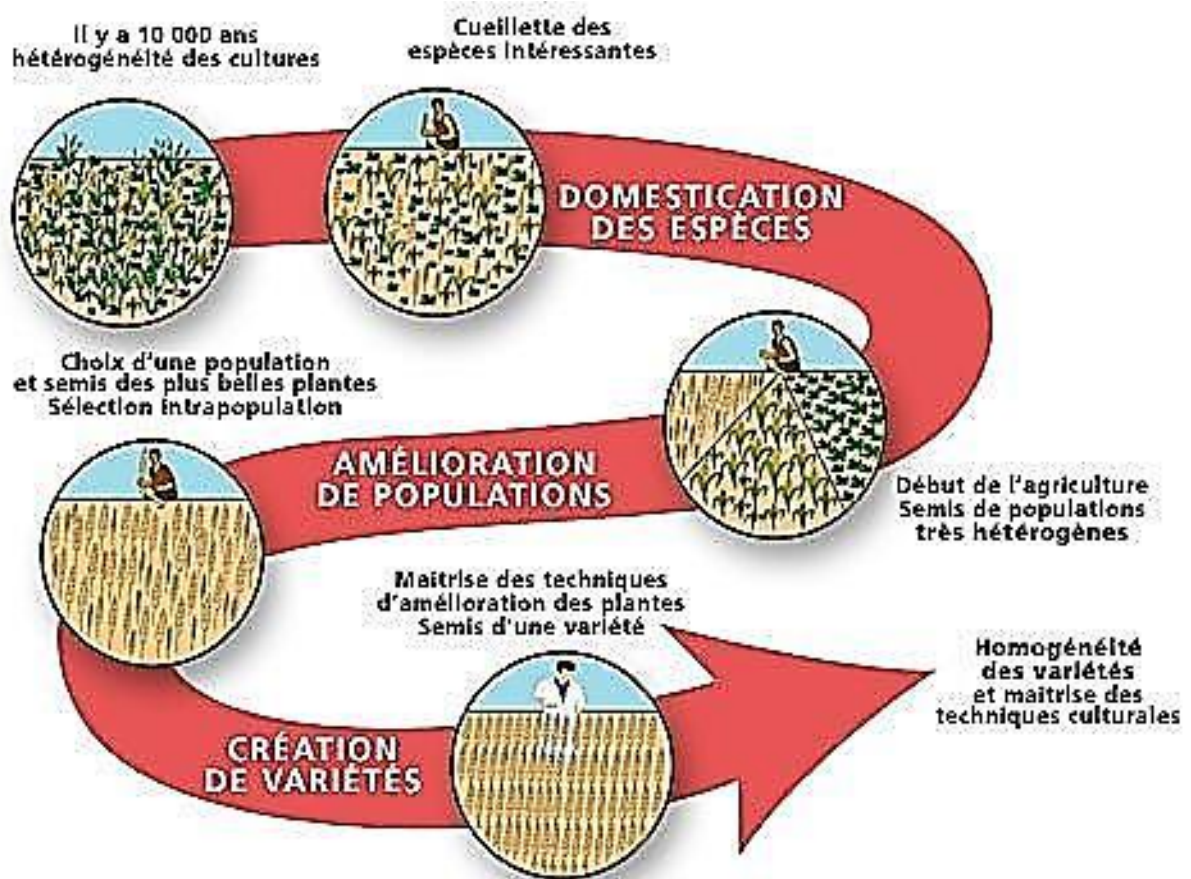


Figure 4: Les étapes montrant le syndrome de domestication.

Exemple de domestication

Le maïs résulterait de la domestication du téosinte (Le téosinte, proche génétiquement du maïs, est cependant différent sur le plan morphologique. Le téosinte présente un tallage abondant, un épi de petite taille et une sensibilité à l'égrenage.

La téosinte, plante sauvage, est l'ancêtre supposé du maïs moderne. La comparaison entre la téosinte et le maïs moderne montre que la plante cultivée

produit des épis plus longs et plus gros, contenant un grand nombre de grains : la domestication a permis une augmentation du rendement. (figure 5).

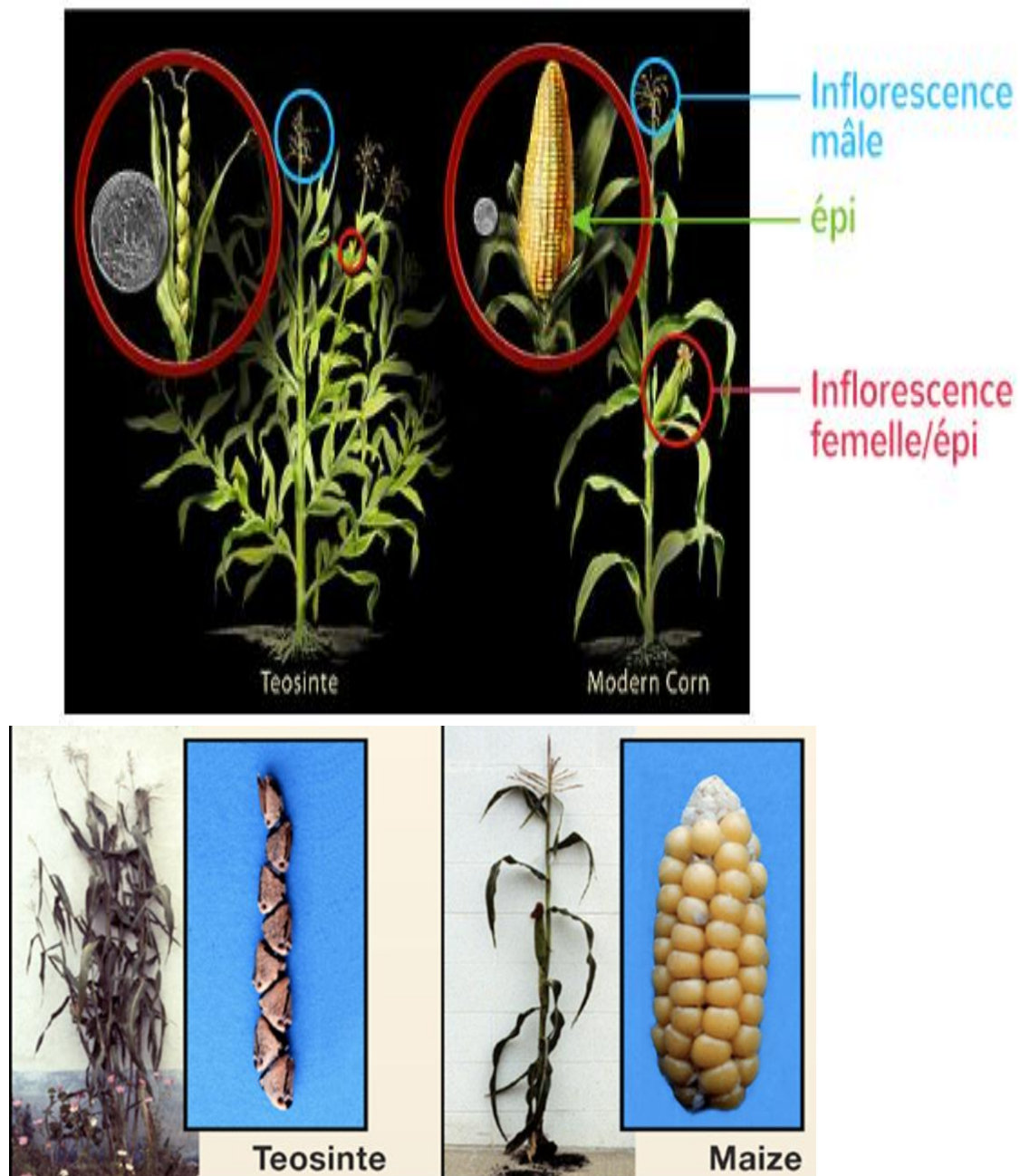


Figure 5: obtention du maïs cultivé à partir de la domestication du téosinte (ancêtre).

1.7.1 Les conséquences de la domestication des plantes

La domestication des plantes entraîne des conséquences sur les plantes, mais aussi sur la population humaine. La biodiversité des plantes est modifiée à l'échelle des espèces, mais aussi à l'échelle génétique. Cette domestication entraîne une

vulnérabilité des cultures que l'homme pallie en modifiant ses pratiques culturales. En retour de cette domestication, les plantes exercent une pression de sélection sur le génome humain

I.7.1.1 La perte de biodiversité

Les espèces cultivées présentent souvent de nombreuses variétés, nées de mutations. Cependant, en créant des plants correspondant à ses besoins, l'homme sélectionne des caractères et appauvrit la diversité allélique. Les plantes cultivées perdent ainsi des caractères que la sélection naturelle favorise chez leurs homologues sauvages.

Les espèces cultivées présentent de nombreuses variétés. Les variétés au sein d'une espèce sont nées de mutations dans des gènes particuliers.



Figure 6: les différentes variétés de carottes.

Les mutations spontanées sont rares, mais elles ont permis de créer des variétés sélectionnées de manière empirique par l'homme.

Les mutations induites sont nées avec les biotechnologies. Les scientifiques provoquent des mutations à l'aide d'agents mutagènes (UV, produits chimiques) et étudient le comportement des plants ainsi modifiés. Cela permet d'identifier les gènes liés à certaines fonctions ou caractères. Cela permet également de modifier un caractère à partir de la mutation d'un gène connu.

Cependant, avec la domestication, la maîtrise progressive des croisements des plantes est de plus en plus homogène et fixée. Les variétés obtenues sont homozygotes, les individus d'une variété possèdent tous les mêmes allèles. On aboutit alors à une perte de diversité allélique et donc à une perte des caractères. Des banques de semences permettent de conserver cette biodiversité.

Exemple

Chaque année, 27000 semences sont conservées par les semenciers. Cela permet de créer de nouvelles variétés.

Au cours des transformations, les caractères sauvages, permettant la survie de la variété en milieu naturel, peuvent avoir été perdus.

La floraison de la téosinte est asynchrone, ce qui signifie que les inflorescences mâles et femelles ne sont pas matures en même temps. Cela garentit une reproduction sur une longue période permettant de faire face aux événements climatiques.

Au contraire pour le maïs cultivé, la floraison synchrone a été sélectionnée. Cela permet une reproduction en une fois et donc une seule récolte. Le maïs cultivé est donc, plus vulnérable aux événements climatiques. Une récolte entière peut être perdue en cas de mauvaises conditions climatiques.

Dans les populations sauvages, les plantes possèdent une grande diversité du génotype et sont dispersées au milieu d'autres espèces végétales. En agriculture, l'homme ne cultive souvent qu'une seule espèce sur de grandes surfaces : c'est la **monoculture**. De plus, la diversité génétique de ces plants sélectionnés est réduite. Cela engendre une vulnérabilité face aux événements météorologiques et aux maladies.



Figure 7 : la monoculture du blé sur des grandes surfaces.

I.7.1.2 La modification des pratiques culturales

Face aux conséquences négatives de la domestication des plantes, l'homme met en place des pratiques culturales spécifiques. Il réutilise des caractères ancestraux, pour créer des variétés plus résistantes, et diversifie ses cultures. Il pratique également la lutte biologique contre les ravageurs pour limiter l'utilisation des intrants (figure 8).

Pour lutter contre les maladies, l'homme réintroduit des gènes de résistance issus des plantes sauvages grâce aux biotechnologies.



Figure 8 : Les larces de coccinelles se nourrissent des cochenilles. Les insectes se nourrissant de la sève des plantes.

L'homme pratique également la lutte biologique pour lutter contre les ravageurs et les agents pathogènes. Cela permet en outre de diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires. **La lutte biologique** est l'utilisation d'organismes vivants afin de prévenir et lutter contre les ravageurs de cultures (insectes, acariens, champignons, plantes invasives, bactéries, etc.), Face aux vulnérabilités des monocultures, qui engendrent également un appauvrissement des sols, l'homme favorise l'agriculture diversifiée en variant ses cultures sur les parcelles d'une année sur l'autre, et en réintroduisant la pratique de la jachère (figure 9)..



Figure 9: L'agriculture diversifiée

Chapitre :
**La diversification de la
génétique et amélioration
des plantes**

Chapitre 1 : La diversification de la génétique et l'amélioration des plantes

L'amélioration des plantes est la recherche d'un gain génétique. Le sélectionneur utilise le matériel génétique préexistant qui constitue sa matière première. Le progrès en sélection ne peut intervenir que si le matériel végétal disponible présente une **variabilité génétique**

La génétique mendélienne traite de caractères nettement distincts (couleur des yeux, forme des appendices...) qui s'exprime par la **variation discontinue**, par contre, la génétique quantitative traite de loci dont les effets sur le phénotype sont petits, qui s'explique par la **variation continue (voir chapitre)**.

La génétique quantitative s'oppose (comme concept) à la génétique mendélienne

II.1 La Génétique Mendélienne

pour la première fois, Gregor Mendel (1865) a proposé le concept de gène. Mendel choisit d'étudier le pois (*Pisum sativum*) pour deux raisons essentielles :

- 1) Il pouvait facilement trouver une grande variété de pois.
- 2) Les fleurs de pois peuvent soit s'autoféconder, soit subir une fécondation croisée.

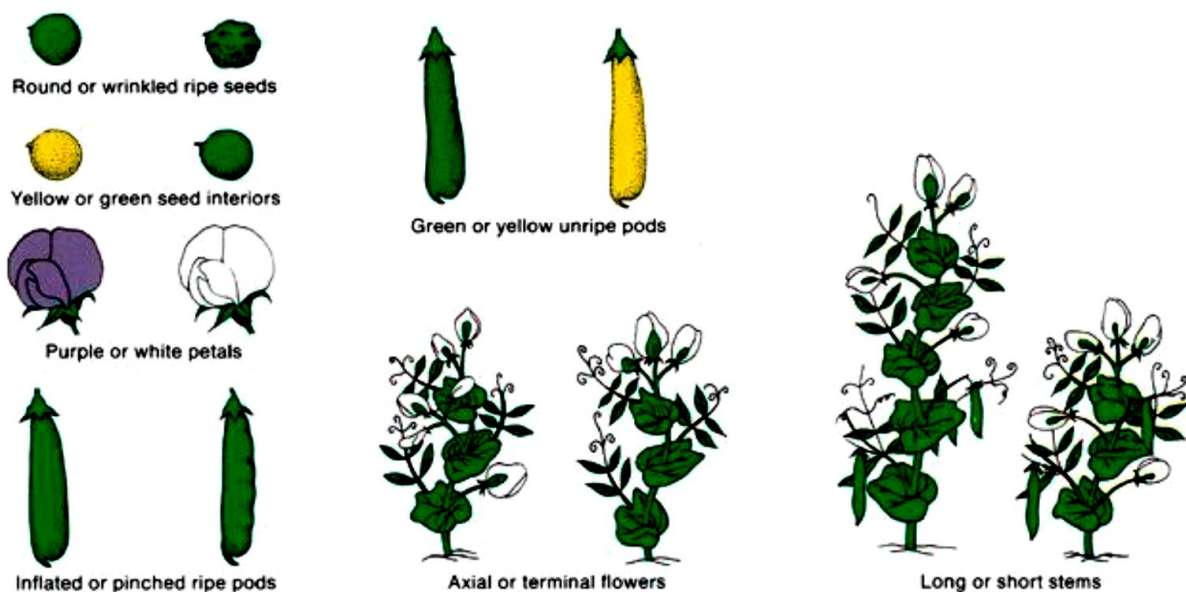


Figure 10: les différents caractères étudiés par Mendel (1865).

Egalement, il a déterminé des notions bien définies et importantes pour ces études (figure 10) :

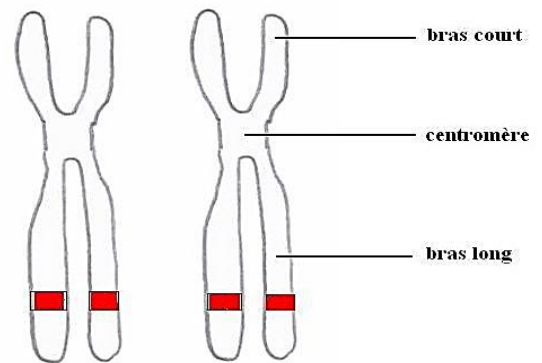
Lignée pure: Population dont les individus donnent des descendants identiques à eux-mêmes (qui ne présentent aucune variation) en ce qui concerne le caractère considéré.

Phénotype: La forme adoptée par un caractère (ou un groupe de caractères) chez un individu spécifique. Il s'agit également des manifestations extérieures détectables d'un génotype spécifique.

Génotype: La constitution allélique spécifique d'une cellule – soit de l'ensemble de la cellule, ou, ce qui est le plus courant, d'un certain gène ou groupe de gènes.

II.1.2 Lois de distribution des caractères héréditaires: analyse mendélienne

- Les unités héréditaires transmises d'une génération à la suivante ont été appelées **les gènes**.
- Les gènes correspondent à des séquences d'ADN; molécule qui est organisée en une structure appelée **chromosome**.



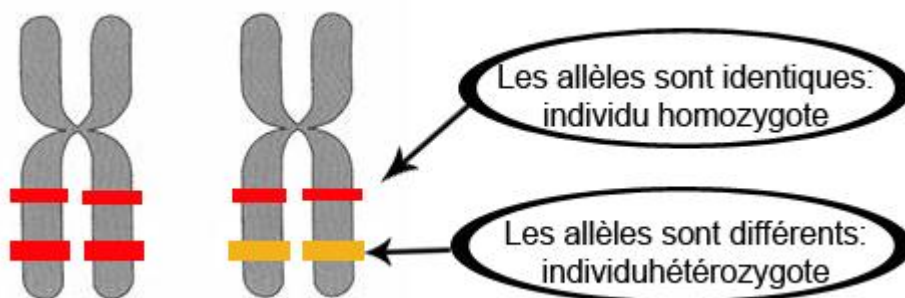
- Chaque gène occupe un emplacement particulier le long du chromosome, cet emplacement est appelé **locus (en rouge)**.

Paires de chromosomes

Un gène peut exister sous plusieurs formes (variantes) que l'on appelle **des allèles** :

Homozygotes (AA) ou hétérozygotes (Aa) :

Exemple :



-Loi de ségrégation indépendante des caractères . Le croisement d'individus doublement hétérozygotes donne une descendance avec 4 classes phénotypiques et les proportions 9 : 3 : 3 : 1

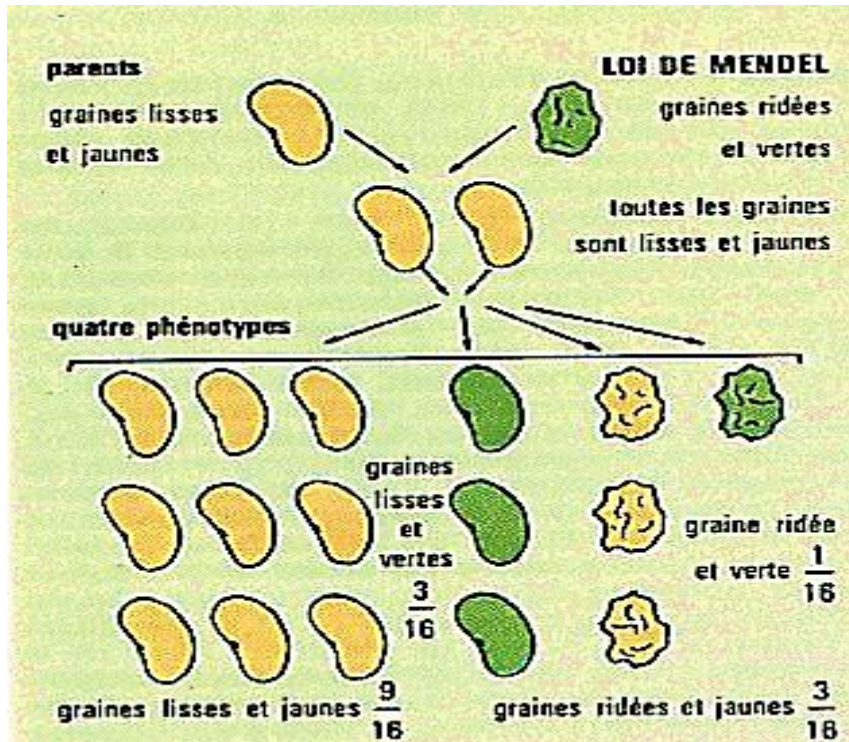


Figure 11: Les croisements réalisés par Mendel, montrant les fréquences de la ségrégation indépendante des deux gènes.

- **Gène multi allélique (série d'alleles)**

Exemple : le système $Cc^{ch}c$ responsable de la pigmentation du fourrure de le lapin .

On a 3 allèles : $C - c^{ch} - c$.

- **La liaison génétique**

Deux gènes portés par le même chromosome ont tendance à ne pas se dissocier à la méiose. On dit qu'ils sont liés. La liaison peut être considérée comme établie quand à l'issue d'un test cross, les proportions respectives des 4 catégories d'individus sont significativement différentes des proportions $1/4, 1/4, 1/4, 1/4$..

Les **gamètes** parentaux sont plus fréquents que les gamètes recombinés. Ceux-ci résultent de crossingover intéressant deux chromatides non soeurs et situées entre les deux loci.

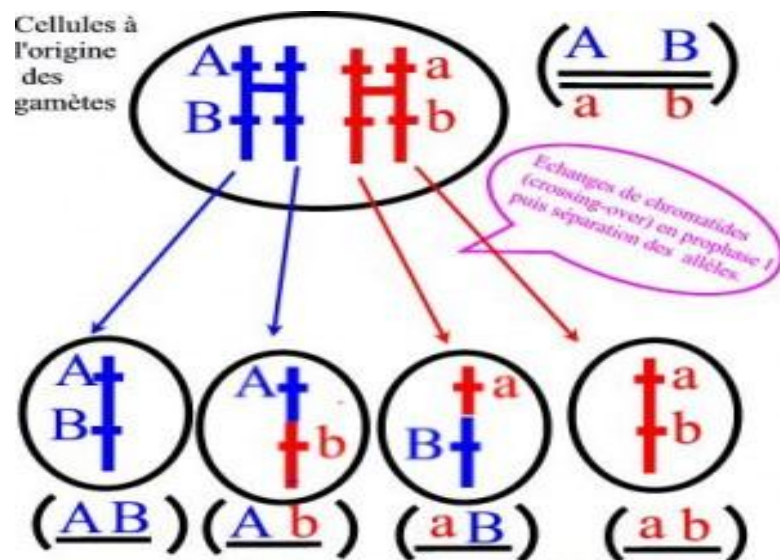


Figure 12: Schéma montrant la liaison entre les gamètes. Deux gamètes parentaux et deux autres recombinés.

Plus la distance entre deux points d'un chromosome est grande plus la probabilité qu'un crossing-over ait lieu entre ces deux points est grande.

$$\text{distance génétique entre deux loci} = \frac{\text{nbre de gamètes recombinés} \times 100}{\text{Nombre total des gamètes}}$$

* Une fréquence de 0,01 (ou 1%) est définie comme 1. unité cartographique de carte génétique (UC).

* L'unité est également parfois exprimée en centimorgan (cM)

Exemple: Identification de trois gènes liés à l'apparition des migraines chez l'homme.

II.2 La génétique quantitative

La génétique quantitative est la génétique des caractères qui peuvent donner lieu à des mesures, que ce soient des caractères à variation continue ou discontinue, c'est-à-dire résultant de plusieurs facteurs génétiques ou non. ...ou bien partie de la génétique qui étudie la transmission des différences individuelles à l'aide de modèles mathématiques qui font appel à la biométrie.

A partir de l'estimation des variances imputables aux effets des gènes et à ceux de l'environnement, les modèles permettent d'estimer l'influence respective de l'hérédité et du milieu. La génétique quantitative est une extension de la génétique mendélienne, qui demeure **basée sur les lois de Mendel**.

La génétique quantitative s'appuie sur la **génétique des populations et les statistiques**. L'analyse de locus de caractères quantitatifs (**QTL**) est un ajout plus récent à l'étude de la génétique quantitative.

II.2.2 Mesures de la variabilité:

II.2.2.1 Les paramètres statistiques d'une population

Généralement, la distribution de fréquences des caractères quantitatifs donne une courbe en forme de cloche (figure 3) appelée courbe normale ou de Gauss. Une courbe normale est définie par sa moyenne et son écart type. Plus l'écart type est grand plus la population est aplatie et plus la population est variable.

- **La moyenne** : La valeur moyenne d'une population est la somme des valeurs de tous les individus de celle-ci divisée par le nombre total d'individus. $X = \sum x_i / n$ où x_i : valeur de l'individu i dans la pop n : nombre total d'individus. S'il s'agit d'une distribution de fréquence : $X = \sum f_i x_i / n$ où f_i : fréquence de l'individu i dans la pop

- **L'écart type**: Est une mesure de la variabilité présente dans une population. Plus l'écart type pour la population est grand, plus la variabilité est forte dans cette population. $S = \sqrt{\sum (x_i - x)^2 / (n-1)}$

- **La variance** : La variance d'une population (V) est le carré de l'écart –type, $S^2 : S^2 = \sum (x_i - x)^2 / (n-1)$

Les variances sont fréquemment utilisées dans la description des populations biologiques.

• **Le coefficient de variation (ou coefficient de variabilité) (CV)** : exprime l'écart type en pourcentage de la moyenne comme suit : $CV = 100 \frac{s}{x}$ Ce coefficient est utilisé dans la comparaison des variations des différentes mesures.

Notion de l'héritabilité (H^2)

Nous avons vu que la variabilité dans une population peut avoir des origines génétiques et/ou environnementales. L'efficacité de la sélection pour un caractère donné dans une population hétérogène dépendra :

- degré de la variabilité génétique, -
- importance des effets de l'environnement.

La sélection est inefficace si la variation environnementale est très importante et masque la variation génétique.

Par définition , le degré de transmission de la variabilité d'un caractère quantitatif des ascendants aux descendants est appelé **héritabilité**, symbolisée par H^2 . Il existe plusieurs méthodes pour l'estimation de l'héritabilité d'un caractère. Elles sont basées sur la décomposition de la variation totale en variation génétique et en variation environnementale.

Principe de base

La valeur phénotypique (P) d'un individu³, c'est-à-dire le résultat de la mesure effectuée sur un individu, est l'effet combiné de la valeur génotypique (G) et de l'effet environnemental (E).

$$P = G + E$$

La valeur phénotypique = P

Compétences attendues: Définir simplement la notion de valeur phénotypique

Compétences attendues: Expliquer la relation : $P = A + I + E$

La valeur phénotypique ou performance P est le résultat de l'expression du caractère. C'est le résultat de la mesure. Elle est la somme de 3 composantes : la valeur des gènes A, les effets des interactions entre ces gènes et les effets du milieu.

On peut donc écrire la relation :

$$P = G + E \longrightarrow G = A + I \longrightarrow P = G + E$$

P= Valeur phénotypique = Performance.

A= Valeur génétique additive de tous les gènes.

I= Interactions entre gènes .

E = Effets du milieu .

-Conséquences sur l'amélioration des performances

Pour améliorer la performance P chez la plante , on peut donc agir sur les trois composantes :

➤ En agissant sur **A** : on cherche à introduire les meilleurs gènes en sélectionnant les individus à haute valeur génétique : la selection.

➤ En agissant sur **I** : on recherche des interactions positives en utilisant des végétaux parfois différents : le croisement ou accouplement .

➤ En agissant sur **M** : on améliore les conditions de production et de vie

La valeur génotypique est l'effet combiné de tous les effets génétiques, y compris celui des gènes nucléaires et des gènes mitochondriaux ainsi que les interactions entre les gènes (**épistasie**).

- **Donc la formule de L'héritabilité est la suivante :**

-	$H^2 = \frac{var G}{var \rho}$		$H^2 = 1$
-			$H^2 = 0$
-			$H^2 = 1/2$

L'effet environnemental désigne le milieu dans lequel vit (ou a vécu) l'individu observé, certains états physiologiques qui lui sont propres et l'observateur lui-même. En production végétale, on range dans cette catégorie des facteurs tels que l'année (influence du climat), la parcelle (influence des conditions topographiques et de sol),

les doses d'engrais appliquées aux différents stades du développement de la plante, les traitements phytosanitaires effectués, les conditions de récolte, etc.

L'observateur a également une influence au travers du protocole de mesure qu'il applique, de la précision de ses instruments de mesure, et des erreurs de mesure qu'il peut commettre.

-Remarques importantes sur la notion d'héritabilité

✚ L'utilisation de l'héritabilité pour la **sélection**. L'identification des facteurs génétiques: analyse du déterminisme génétique de la variation des caractères: la recherche **des QTL**.

✚ L'héritabilité d'un caractère est une notion relative à une population étudiée dans un milieu donné: ce n'est pas une mesure absolue pour un caractère et une espèce.

✚ Pour une population donnée, **l'héritabilité évolue au cours du temps** en fonction des changements de l'environnement, de l'effet de la sélection, de la perte ou du gain de diversité génétique (mutation, migration)...

Quelques exemples de caractères à variation continue

Caractères biométriques

– Taille des individus, poids, croissance

--Caractères agronomiques

– Teneur en huile chez le Maïs

– Nombre de grains par épi de Blé

– Date de floraison chez le Blé

- Maladies multifactorielles / maladies "monogéniques«

-Caractères impliqués dans l'adaptation

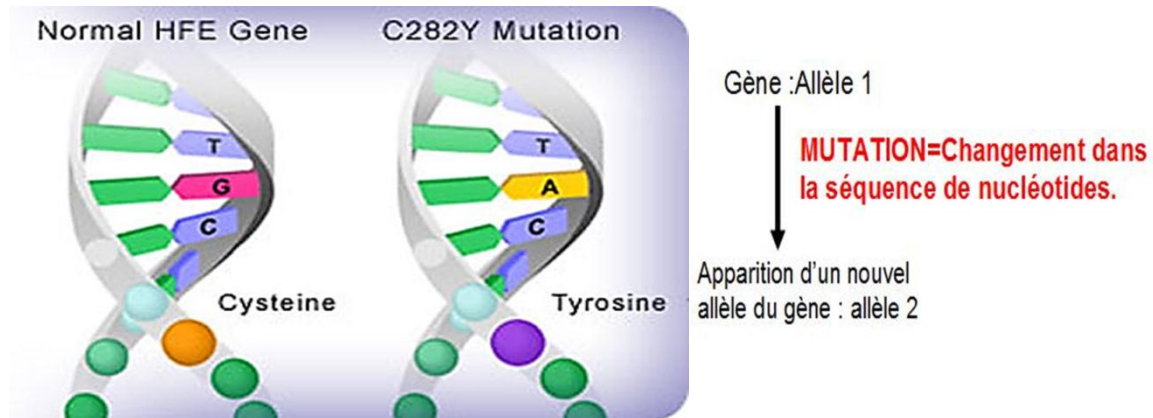
– Précocité floraison, fertilité, tolérance facteurs du milieu

II.3 Les mutations génétiques

Une mutation est une modification rare, accidentelle ou provoquée, de l'information génétique (séquence d'ADN ou d'ARN) dans le génome.

La mutation héréditaire est celle où la séquence génétique mutée est transmise à la génération suivante (voir mutations germinales). Elle est l'un des éléments de la

biodiversité l'un des nombreux facteurs pouvant éventuellement participer dans l'évolution de l'espèce.



II.3.1 Les différents types de mutation

Les mutations ponctuelles:

correspondent à la modification d'une seule paire de bases azotées dans la molécule d'ADN. (Mutation non visible au niveau du caryotype) On distingue 3 types :

Mutation par substitution :

Changement d'un nucléotide (d'une base) par un autre nucléotide. Ex : Drépanocytose, Betavar, groupes sanguins, B thalassémie 1.

Mutation par addition :

Insertion d'un nucléotide supplémentaire Ex : B thalassémie 5 (insertion adénine).

Mutation par délétion : Perte d'un ou plusieurs nucléotides. Ex : Thalassémie 8 (délétion CTTT).

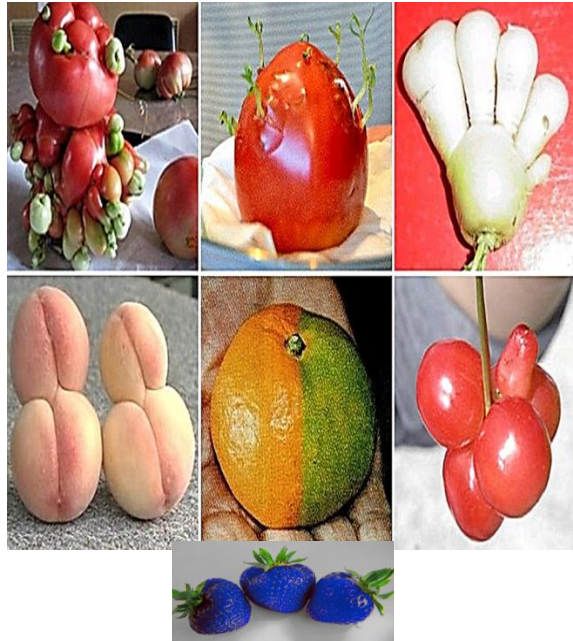


Figure 13: Les mutations chez quelques végétaux.

Effets phénotypiques des mutations

L'effet phénotypique d'une mutation se définit par comparaison avec le phénotype sauvage :

- **Mutation directe** : change un allèle de type sauvage
- **Mutation réverse (réversion, ou mutation en retour)** : restaure l'allèle de type sauvage au départ d'un allèle mutant
- **Mutation faux-sens** : une substitution de base qui résulte en l'incorporation d'un acide aminé différent dans une protéine
- **Mutation non-sens** : change un codon sens en codon non-sens. Si une mutation non-sens se produit au début de la séquence codante d'un gène, la protéine correspondante sera sérieusement raccourcie et très probablement non fonctionnelle
- **Mutation silencieuse** : crée une séquence d'ADN différente, mais qui spécifie le même acide aminé que la séquence de type sauvage, suite à la redondance des codons.
- **Mutation neutre** : une mutation faux-sens qui change la séquence des acides aminés d'une protéine sans en altérer la fonction. Les mutations neutres remplacent un acide aminé par un autre de nature chimique similaire ou elles affectent un acide aminé qui n'a que peu d'effet sur la fonction de la protéine

II.4 Les variations chromosomiques

II.4.1 Les variations de type nombre

La plupart des organismes supérieurs sont diploïdes et possèdent donc deux lots de chromosomes homologues. Dans la nature, on peut souvent observer une variation de ce nombre de lots de chromosomes (ploïdie). On estime qu'un tiers des angiospermes (plantes à fleurs) ont plus de deux lots de chromosomes (polyploïdie).
Définition : Le génome (X), nombre chromosomique de base, est un ensemble complet de chromosomes hérités d'un parent en tant qu'unité. Dans chaque génome, chaque chromosome est représenté une fois. $2n$: indique le nombre somatique de chromosomes ; n : indique le nombre gamétique de chromosomes ; x : indique le nombre de base de chromosomes ou génome. - La variation chromosomique peut toucher quelques chromosomes seulement, c'est ainsi qu'on peut avoir un ou deux chromosomes en plus ou en moins, on parle **d'aneuploïdie** . La variation peut toucher la totalité du génome, on parle **d'euploïdie**.

Tableau 2: exemple de trois espèces d'avoine.

especies	$2n$	n	x	Niveau de ploïdie
Avena stregosa	14	7	7	Diploïde
Avena barbata	$28=4x$ 14 7	14	7	tetraploïde
Avena sativa	$42=6x$	21		hexaploïde

II.4.1.1-Euploïdie et polyploïdie :

Le changement dans le nombre de chromosomes implique tout le stock chromosomique. Remarquons que $2n$ est utilisé partout pour indiquer le nombre somatique de chromosomes quelque soit le nombre x , $2x$, $3x$, etc...de jeux chromosomiques par noyau. Parmi les végétaux, on peut remarquer l'existence de nombreux complexes polyploïdes intra et interspécifiques qui ont un rôle majeur dans l'évolution et tout particulièrement dans les processus de spéciation.

Chez les euploïdes on distingue les autopolyploïdes ou autopolloïdes et les allopolyploïdes ou alloploïdes. Cette euploïdie peut aboutir à la **polyploïdisation** (plusieurs niveaux). Ou **polyploïdie**

Organisme	monoploïde	diploïde	triploïde	tetraploïde	pentoploïde	hexaploïde
n. ploïde	2n= x	2n=2x	2n=3x	2n=4x	2n=5x	2n=6x

1-1 Autopolyploïdes:

Duplication des chromosomes d'une même espèce (même génome). Les autopolyploïdes peuvent être produits spontanément (non-disjonction des chromosomes au moment de la méiose) ou artificiellement (par traitement à la colchicine ou par croisement entre diploïdes et tétraploïdes: $2x \times 4x =$ descendance $3x$ (stérile, fruits sans graine) par dédoublement chromosomique. Elle a lieu au niveau des gamètes non réduites.

Caractéristiques :

- cellules et noyaux volumineux ;
- tiges épaisses ;
- feuilles épaisses, large et de couleur verte foncée ;
- grandes fleurs et grandes graines ; - racines plus développées

} GIGANTISME

Exemple

Patate douce : $2n=6x=90$ chrs (Hexaploïde) (Fig 2).

Maïs : $2n=4x=20$ chromosomes (Tétraploïde) (Fig 3).

Banane : $2n=3x=33$ chromosomes (Triploïde) (Fig 4).

Une autre conséquence de l'autoploidie est la réduction de la fertilité ce qui entraîne une faible production de semences. Cette réduction de la fertilité résulte le plus souvent, de désordres dans la formation des grains de pollens, au cours de la fécondation ou le développement de l'embryon. - moins vigoureux que les parents diploïdes possédant un nombre de chromosomes de base déjà élevé.



Figure 14: Autohexaploïdie de la patate douce

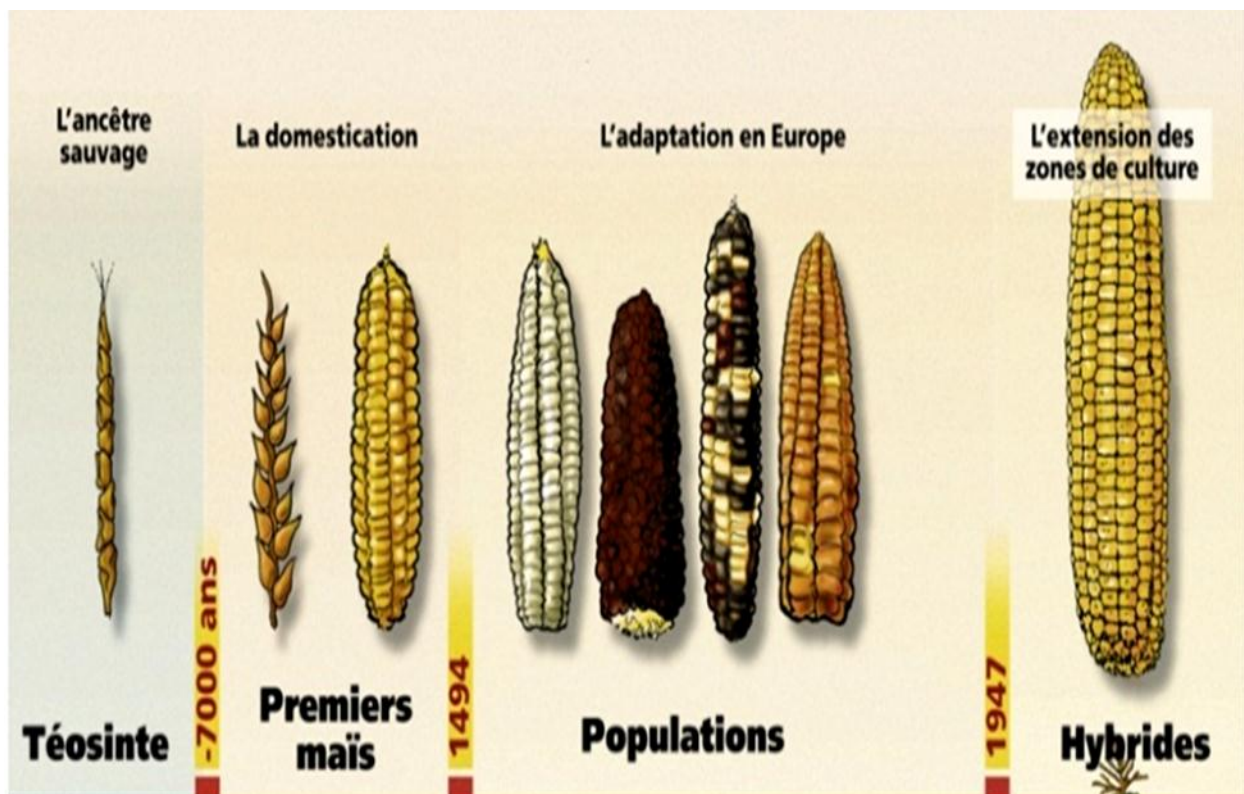


Figure15: L'évolution de l'Autotétraploïdie chez le maïs.

Cos de la banane



Banane sauvage
abondance de pépins, peu de pulpe
=> Intérêt « alimentaire » limité



Banane cultivée
peu de pépins, pulpe abondante
=> Grand intérêt « alimentaire »

Banane sauvage → Formule chromosomique : $2n = 22$

Banane du commerce → Formule chromosomique : $3n = 33$

= polyplöidie (triploïdie)

→ Gamète normal $n = 11$ x Gamète anormal $2n = 22$

=> Anomalie lors de la méiose

- la génétique des autopolloïdes est plus complexe que celle des diploïdes.

Exp. soit un locus à deux allèles : A et a Diploïdes : 3 génotypes : AA ; Aa ; aa Par contre, pour un Autotétraploïde : 5 génotypes possibles selon le nombre d'allèles dominants A :

AAAA	AAAa	AAaa	Aaaa	aaaa
Quadruplexe	Triplexe	duplexe	Simplexe	Nulliplexe

Du point de vue agronomique, la tendance des autopolloïdes à produire plus de matière végétale et moins de graines que les diploïdes donne à penser qu'ils sont surtout intéressants chez les espèces cultivées pour leur partie végétative (exemple betterave à sucre, plantes fourragères, plantes ornementales).

1-2 Allopolyploïdes:

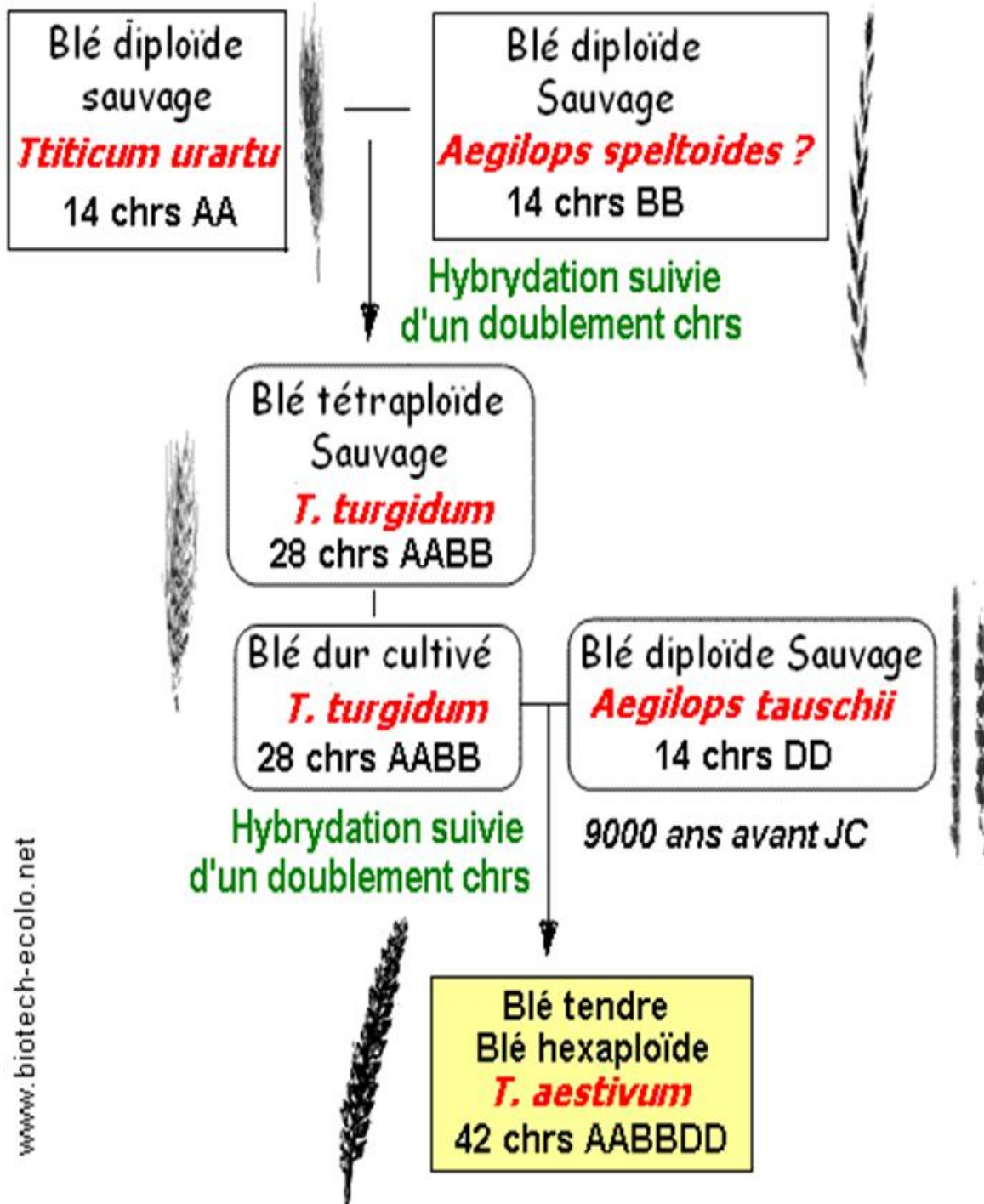
Par opposition aux autopolloïdes pour lesquels la multiplication des génomes ne fait intervenir qu'une seule espèce, les allopolloïdes sont obtenus par la combinaison de génomes provenant de deux ou de plusieurs espèces.

a- Allopolyploïdes cultivés :

Plusieurs espèces cultivées résultent de croisements interspécifiques, exp. BD, avoine, BT, la canne à sucre. Les différentes espèces de blé ont été générées par des événements successifs de polyploïdisation intervenant après des croisements interspécifiques entre trois espèces ancestrales diploïdes. Le premier événement, impliquant *Triticum monococcum* et *Aegilops speltoides*, a eu lieu il y a environ 500 000 ans et a conduit à l'apparition du blé dur tétraploïde : *Triticum turgidum* (ou blé à pâtes). Le deuxième événement de polyploïdisation a eu lieu au cours de la domestication, il y a environ 9000-12000 ans, entre le blé dur cultivé (tétraploïde) et un autre blé diploïde (*Aegilops tauschii*) et a donné *Triticum aestivum*, le blé tendre panifiable actuel (ou blé à pain). Il est hexaploïde c'est-à-dire qu'il comporte 6 jeux de chromosomes (figure 16)..

Exemples

- arbres fruitiers: prunier domestique
- céréales : blé tendre, blé dur, avoine, ...
- colza, autres *Brassica*,



www.biotech-ecolo.net

Figure 16: Histoire évolutive du blé.

II.1.1.2 Aneuploidie

Une plante aneuploïde est un organisme dont le nombre de chromosomes diffère du type sauvage par une partie du jeu de chromosomes. Généralement, le jeu de chromosomes aneuploïde diffère du type sauvage seulement par un chromosome ou par un petit nombre de chromosomes.

Les aneuploïdes peuvent comporter un nombre de chromosomes supérieur ou inférieur à celui du type sauvage. La nomenclature des aneuploïdes est basée sur le nombre de copies du chromosome concerné dans l'état aneuploïde.

Par exemple,

l'état aneuploïde $2n - 1$ est appelé monosomique, car il comporte une seule copie d'un chromosome spécifique au lieu des deux copies présentes chez son parent diploïde.

L'aneuploïde $2n + 1$ est appelé trisomique.

$2n - 2$ est nullisomique et $n + 1$ est disomique.

$2n+1+1$ est double trisomique.

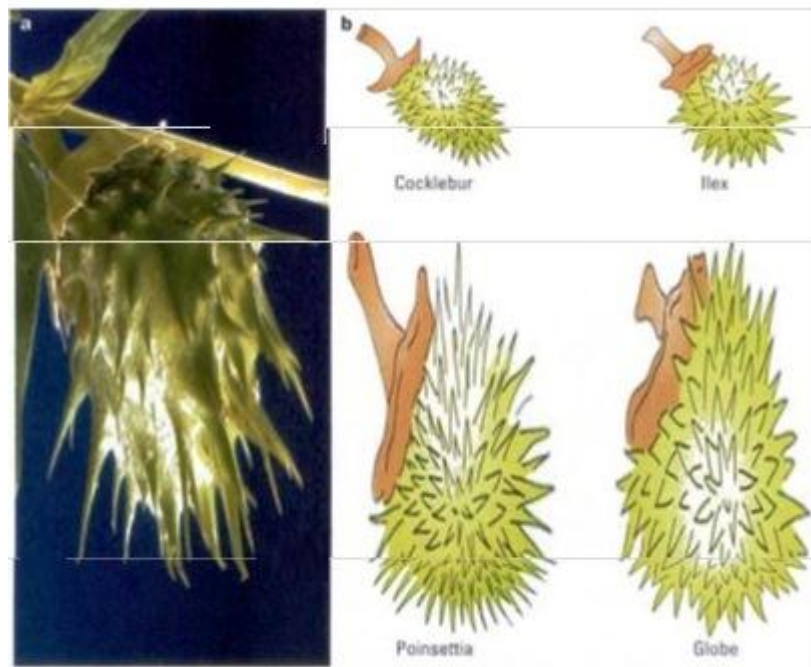


Figure17: La trisomie chez une plante à fleurs : le Datura (a. fruit normal ; b. fruits trisomiques)

La monoploïdie concerne les individus qui n'ont qu'un seul jeu de chromosomes au lieu de deux (diploïdie). On ne parle pas dans ce cas d'haploïdie car cette dernière correspond à une étape différente du cycle de développement. La monoploïdie existe chez les insectes (abeilles, guêpes et fourmis) chez qui le mâle se développe à partir d'un oeuf non fécondé. Les gamètes sont alors produits chez le mâle adulte par mitose. La monoploïdie existe aussi chez les végétaux et est souvent utilisée en horticulture pour obtenir des plants stériles :

Rôle des hybridations dans la variabilité génétique

L'hybridation intra spécifique et interspécifique est la source principale de la diversité génétique, car elle permet la création et l'augmentation de la variabilité génétique qui est engendré dans la sélection (voir les exemples ci-dessous) :

Exemples des hybridations intra spécifiques et interspécifiques:

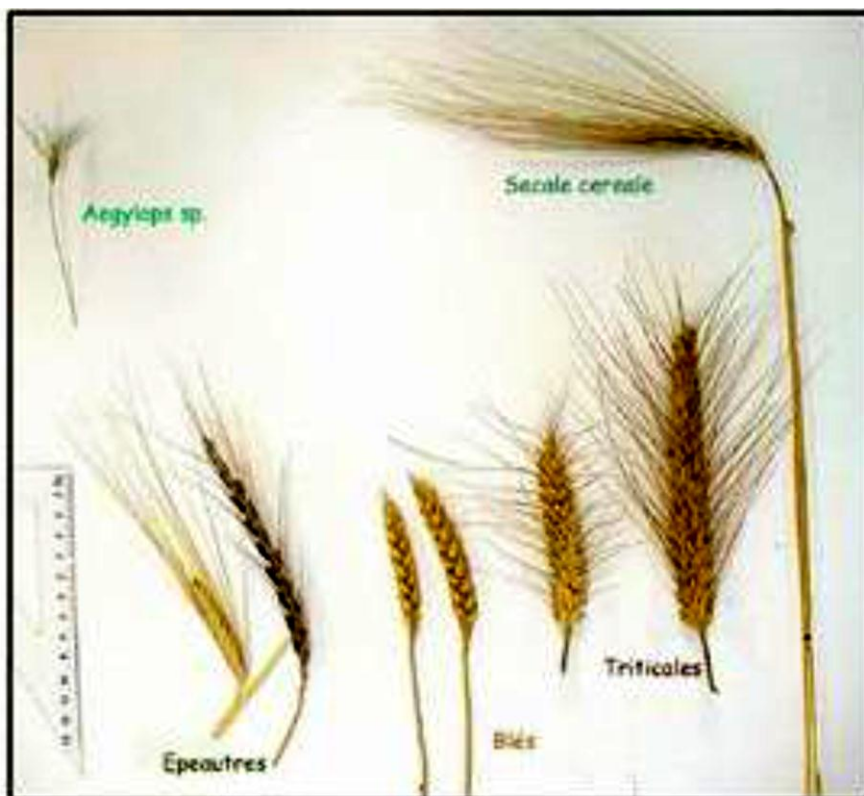


Figure 18: les différents épis des céréales, issus Par hybridation inter- spécifique



Figure 19: différentes variétés d'oignon. Au centre l'hybride F1, de part et d'autre les variétés parentales P1 et P2.

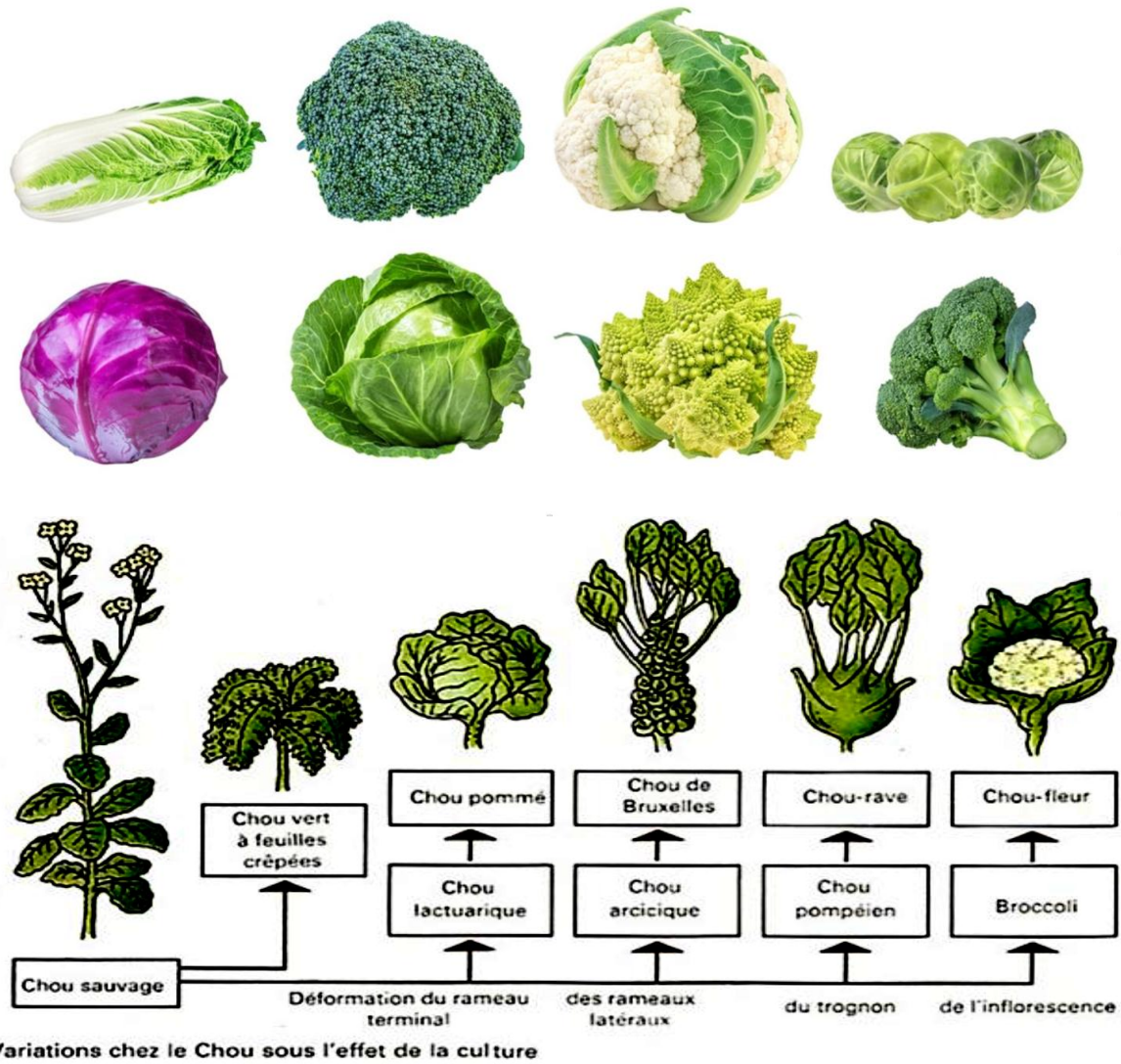


Figure 20 : différentes variétés de chou-fleur issues d'hybridation intra spécifique

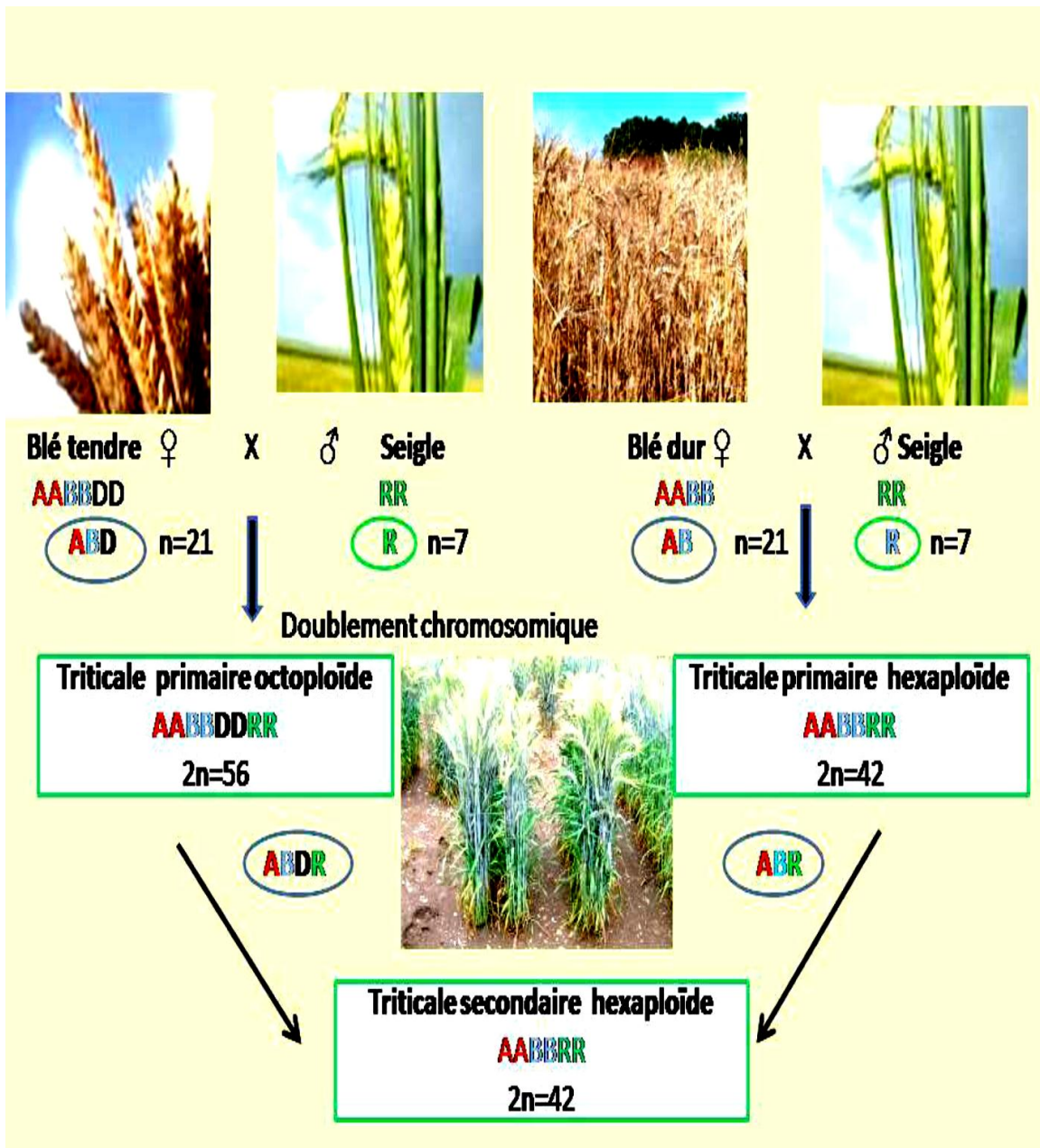


Figure 21: obtention de différents triticales à partir des croisements interspécifiques entre deux genres : *Triticum* x *Secale*.



Figure 22 : différentes variétés de citrouilles provenant des hybridations interspécifiques.

II.4.2 Les variations de type structure

Les anomalies soit du nombre, soit de la structure des chromosomes sont appelées aberrations chromosomiques. Elles peuvent être détectées avant la naissance par l'analyse du caryotype de cellules fœtales obtenues par ponction de trophoblaste ou par amniocentèse.

Les altérations des chromosomes sont :

- les cassures chromosomiques, comme la **délétion** ou l'**inversion** ;
- les échanges de fragments entre chromosomes : **translocation** et **insertion** ;
- la **duplication**.

Réarrangements touchant un seul chromosome.

- **Inversion péricentrique** : deux cassures sur le chromosome, une de chaque côté du centromère. Recollement après inversion du fragment centromérique. Conséquence : modification de l'indicecentromérique du chromosome le plus souvent.- **Inversion paracentrique** :


deux cassures sur le même bras chromosomique et recollement après inversion du fragment.

-Délétion : perte d'un fragment de chromosome. Il s'agit toujours d'une anomalie déséquilibrée. La délétion est dite interstitielle quand il y a perte d'un fragment intermédiaire (deux points de cassure comme dans l'inversion), terminale quand l'extrémité d'un bras chromosomique est concernée (un seul point de cassure).

- **Mécanisme d'apparition**

- * à l'occasion d'un remaniement chromosomique : au cours du processus de cassure - réappariement des chromosomes, il peut y avoir perte d'un petit fragment responsable de l'apparition de signes cliniques malgré l'aspect apparemment équilibré du caryotype standard ;

- * microdélétion isolée : certaines régions chromosomiques riches en séquences répétées sont des localisations préférentielles de survenue de ce type d'anomalie par un mécanisme de *recombinaison* inégale entre les deux *chromosomes homologues* . Différents syndromes cliniques sont la conséquence de telles microdélétions : syndrome de PraderWilli et syndrome d'Angelman (microdélétion du chromosome 15), syndrome de DiGeorge (microdélétion du chromosome 22), syndrome de Smith Magenis et syndrome de Miller Dieker (microdélétions du chromosome 17), syndrome de Rubinstein Taybi (microdélétion du chromosome 16), syndrome de Wolf Hirschhorn (microdélétion du chromosome 4).

- **Duplication** : présence en double exemplaire d'une région chromosomique. Cette anomalie est toujours déséquilibrée. La duplication est dite directe si le fragment dupliqué conserve la même orientation que le fragment d'origine, et inversée si le fragment dupliqué a une orientation inverse. + 

- **Anneau** : comme son nom l'indique, il s'agit d'un chromosome de forme circulaire. Une telle image résulte d'une cassure sur chacun des deux bras du chromosome, suivie d'une fusion des extrémités libres du bras court et du bras long ; les deux fragments distaux sont perdus. Il s'agit donc toujours d'une anomalie déséquilibrée.

✚ Réarrangements touchant plusieurs chromosomes.

- **Translocation réciproque** : il s'agit d'un échange de matériel entre deux chromosomes non homologues après cassure sur chacun des chromosomes impliqués. Si cet échange s'accompagne d'une perte de matériel génétique, il est déséquilibré, sinon la translocation est dite équilibrée.
- Dans certains cas exceptionnels, une translocation réciproque peut impliquer trois voire quatre chromosomes différents.
- **Translocation robertsonienne** : cas particulier de translocation impliquant deux chromosomes acrocentriques (chromosomes 13, 14, 15, 21 et 22) dont le bras court de très petite taille ne code que pour des gènes répétés. La translocation consiste en une fusion des chromosomes avec perte des bras courts, sans aucune conséquence clinique directe pour le sujet porteur.
- **Insertion** : autre cas particulier de translocation où un fragment de chromosome est inséré au sein d'un autre. Cette anomalie nécessite trois points de cassure.
- **Conséquences des anomalies de structure**
- Les conséquences de ces anomalies sont variables en fonction du remaniement considéré.
- **. Si l'anomalie est équilibrée** (ni perte ni gain de matériel génétique), il n'y a pas de conséquence clinique pour le sujet porteur. Toutefois, cette anomalie peut entraîner une diminution de la fécondité et/ou induire l'apparition d'une anomalie dans sa descendance (anomalie chromosomique déséquilibrée ou *disomieuniparentale*) en favorisant les *non-disjonctions* méiotiques.
- Au cours de la méiose, qui signe le début du processus de maturation des cellules germinales en gamètes, les chromosomes homologues de chaque paire s'apparient pour former des *bivalents* (ou tétrades). C'est au cours de cet appariement que se mettent en place les crossing-over qui sont le reflet des recombinaisons génétiques entre les génomes parentaux. Puis, les bivalents doivent se séparer pour que chacun des homologues migre dans une cellule fille différente. C'est cette étape critique de recombinaison et de séparation qui peut être altérée par

l'existence d'une anomalie chromosomique et entraîner une mauvaise ségrégation des homologues.

- En effet, pour permettre un appariement des régions homologues, les chromosomes remaniés s'associent de manière plus ou moins compliquée. Ainsi, dans le cas d'une translocation réciproque, on observe des tétrades comprenant les quatre chromosomes (deux paires) impliqués. La ségrégation sera équilibrée si les deux chromosomes non En fonction de l'importance du déséquilibre créé et de sa viabilité, la grossesse pourra
- remaniés migrent ensemble vers un pôle cellulaire et les deux remaniés vers l'autre. On obtient alors un gamète normal et un gamète porteur de la translocation équilibrée. Mais il arrive également que deux homologues migrent ensemble ou même que trois chromosomes partent vers le même pôle cellulaire. Le gamète résultant sera alors déséquilibré et donnera après fécondation un embryon avec un fragment chromosomique en triple exemplaire et un fragment présent à un seul exemplaire.
- s'interrompre ou se poursuivre à terme. Quand le déséquilibre est très important, l'embryon n'est pas viable et la grossesse se termine par une fausse-couche spontanée qui peut survenir avant tout retard de règle. Dans ces cas, les grossesses passent inaperçues et les couples se présentent cliniquement en consultation pour stérilité. En cas de petit déséquilibre compatible avec la survie du fœtus, il y a un risque de retentissement clinique plus ou moins important associant retard mental et malformations.

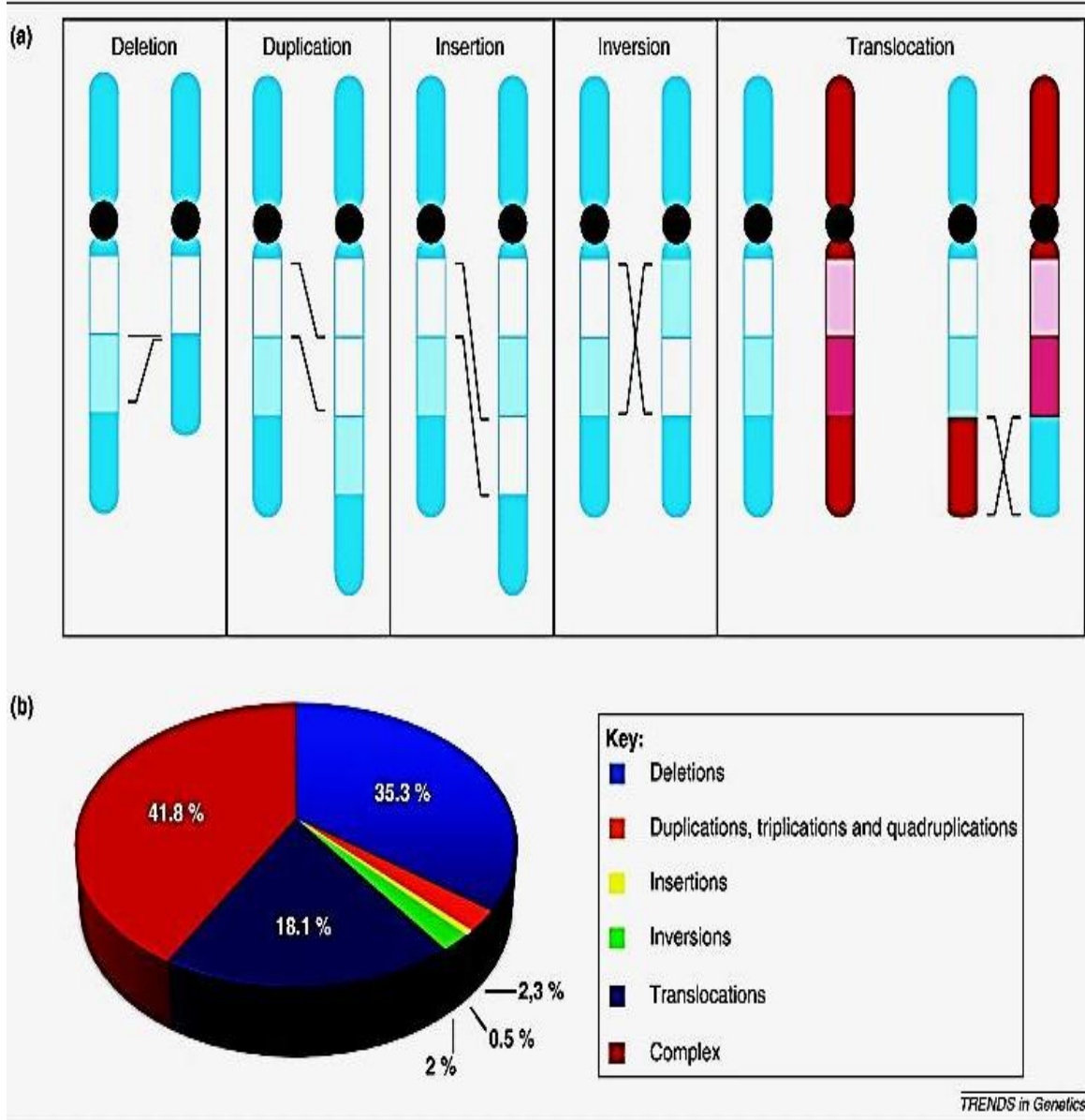


Figure 23: les aberrations chromosomiques (variations de structure), ainsi que le % de chaque type.

Chapitre III :

Téchniques d'amélioration génétique des plantes

Chapitre III : Techniques d'amélioration génétique des plantes

III.1 la sélection végétale

Historique

La première sélection remonte à 10 000 ans avec la domestication. L'homme a toujours utilisé, sans même s'en rendre compte, la sélection massale. Par la suite, divers travaux ont fait considérablement avancer les choses (figure 23):

- 1676 : découverte du rôle des organes reproducteurs
- 1845 : premiers travaux sur l'hybridation du maïs par Henri Lecoq
- 1863 : premières hybridations entre espèces par Charles Naudin
- 1865 : début de la sélection généalogique grâce à Louis l'Evêque (Louis de Vilmorin) en démontrant l'intérêt de la sélection sur la descendance de la betterave
- 1866 : Lois de Mendel
- 1902 : découverte de la totipotence des cellules par Gottlieb Haberlandt
- 1908 : base de la sélection des hybrides sur maïs par Shull
- 1912 : première sélection de blé par la méthode Bulk par Nilsson
- 1933 : premières variétés de maïs hybride sont cultivées aux États-Unis
- 1935 : première carte génétique de certains gènes du maïs par Emerson
- 1939 : nouvelle méthode, SSD (single seed descent), appliquée sur le blé par Golden
- 1950 : Technique de la culture in vitro (multiplication végétative sur la pomme de terre par Morel et Martin)
- 1953 : Watson et Crick arrivent à décrire la structure de l'ADN
- 1975 : premier hybride de tournesol obtenu par stérilité mâle génétique
- 1977 : découverte du transfert de gène sur bactérie par Schell
- 1983 : développement de la PCR par Kary Mullis, premières plantes transgéniques obtenues à partir du tabac grâce à des équipes belge et américaine
- 1985 : première variété de blé issue de la technique d'haplodiploïdation
- 2000 : séquençage du génome sur une brassicacée (*Arabidopsis thaliana*)
- 2002 : séquençage du génome du riz

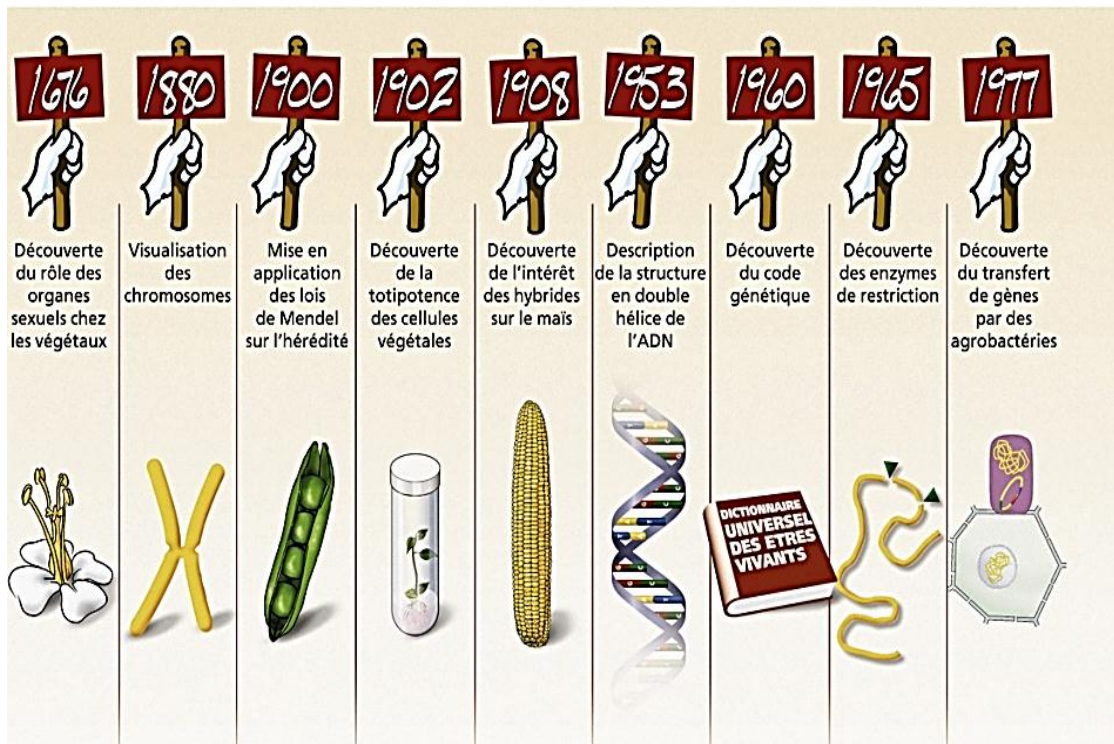


Figure 24: Les repères historiques de la sélection.

Comment et pourquoi les chercheurs font évoluer l'herbe Dans la nature ???

il existe souvent une plante sauvage qui peut améliorer l'espèce cultivée. (domestication, sélection)...à partir des caracteres importants en agronomie (figure 25).

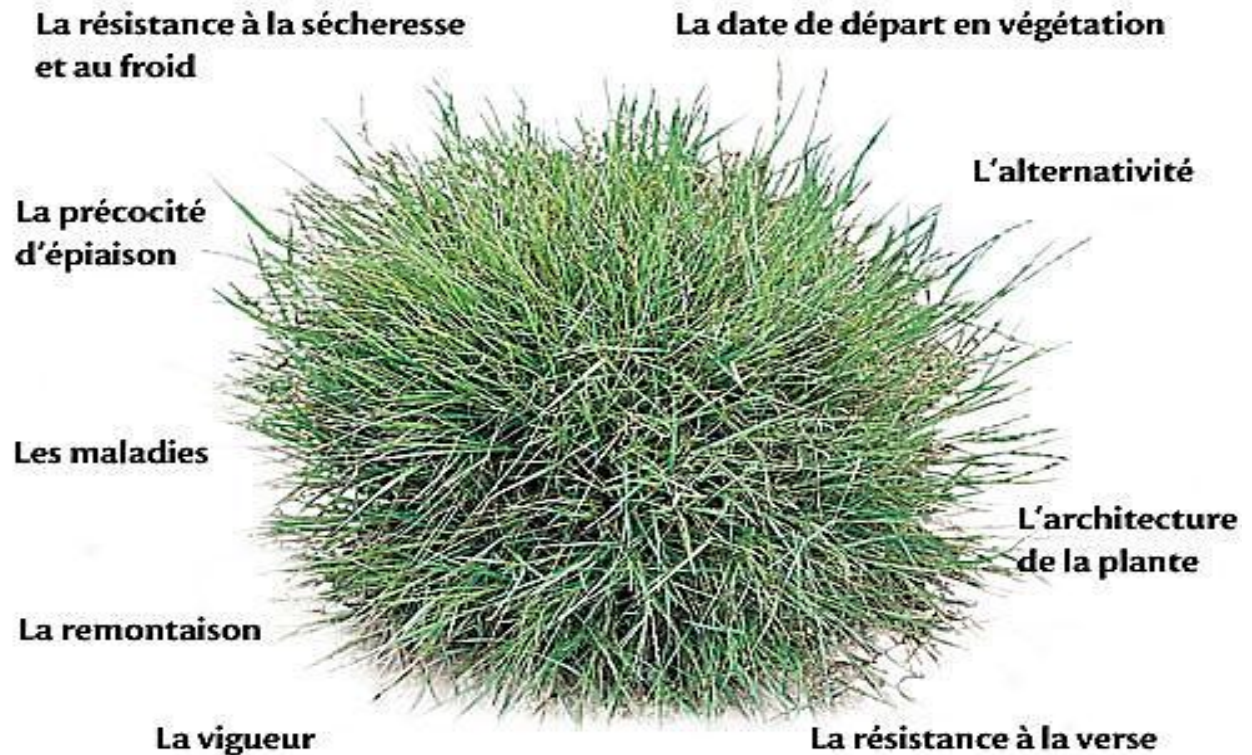


Figure 25: photo d'une herbe montrant les caractères désirés à améliorer par le chercheur

III.1.1 Le principe de la sélection végétale (artificielle)

L'amélioration des plantes a pour but de créer de nouvelles variétés à partir de la diversité existante. Elle consiste à croiser deux plantes choisies pour leurs caractères intéressants et complémentaires afin de les réunir dans une seule. Par le choix des meilleures plantes dans la descendance, les sélectionneurs aboutissent après un long travail d'épurations successives à la création d'une nouvelle variété (figure 25).

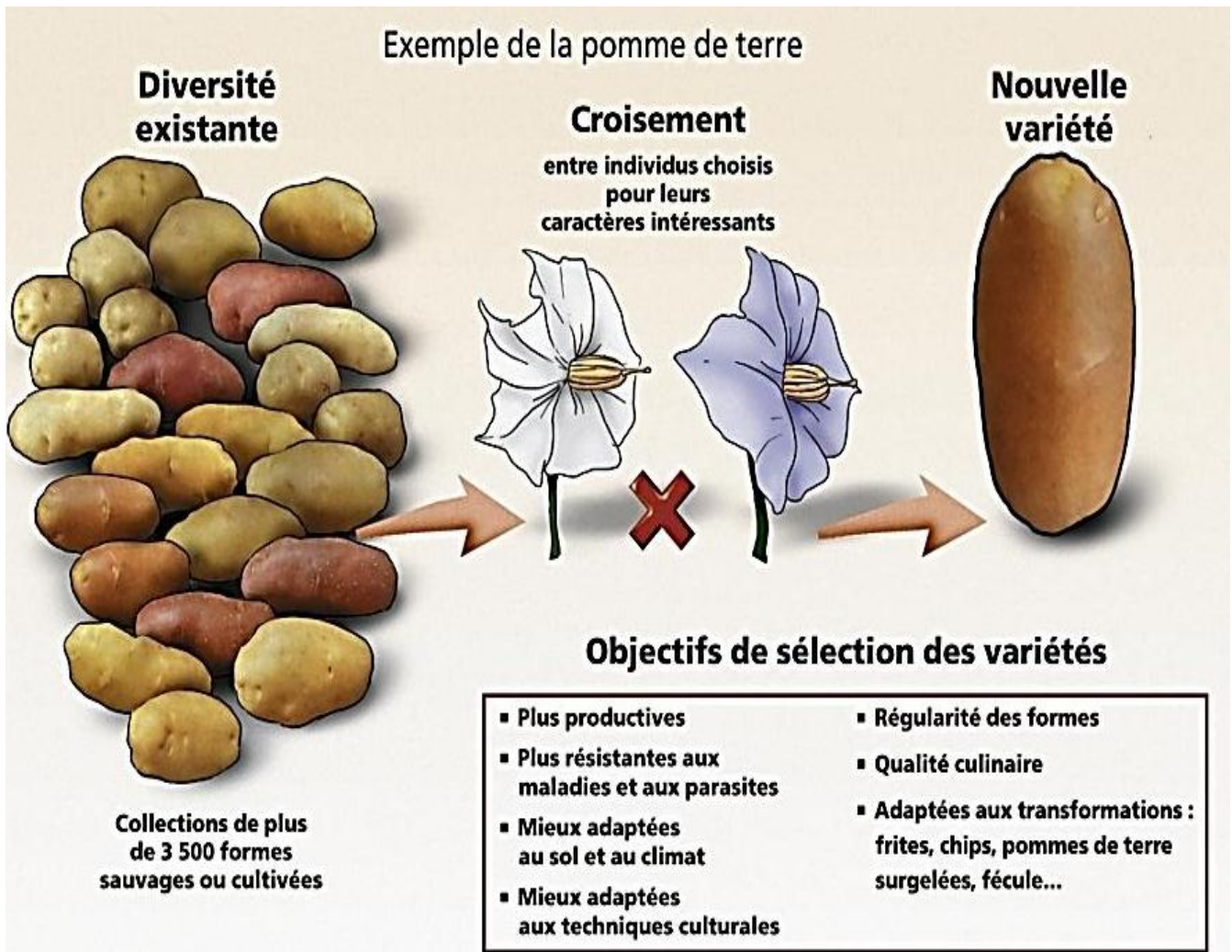


Figure 26: Schéma explique Le principe d'amélioration des plantes.

III.1.2 Les étapes de la sélection artificielle

Les étapes de la sélection sont représentées dans le schéma suivant (figure 27).

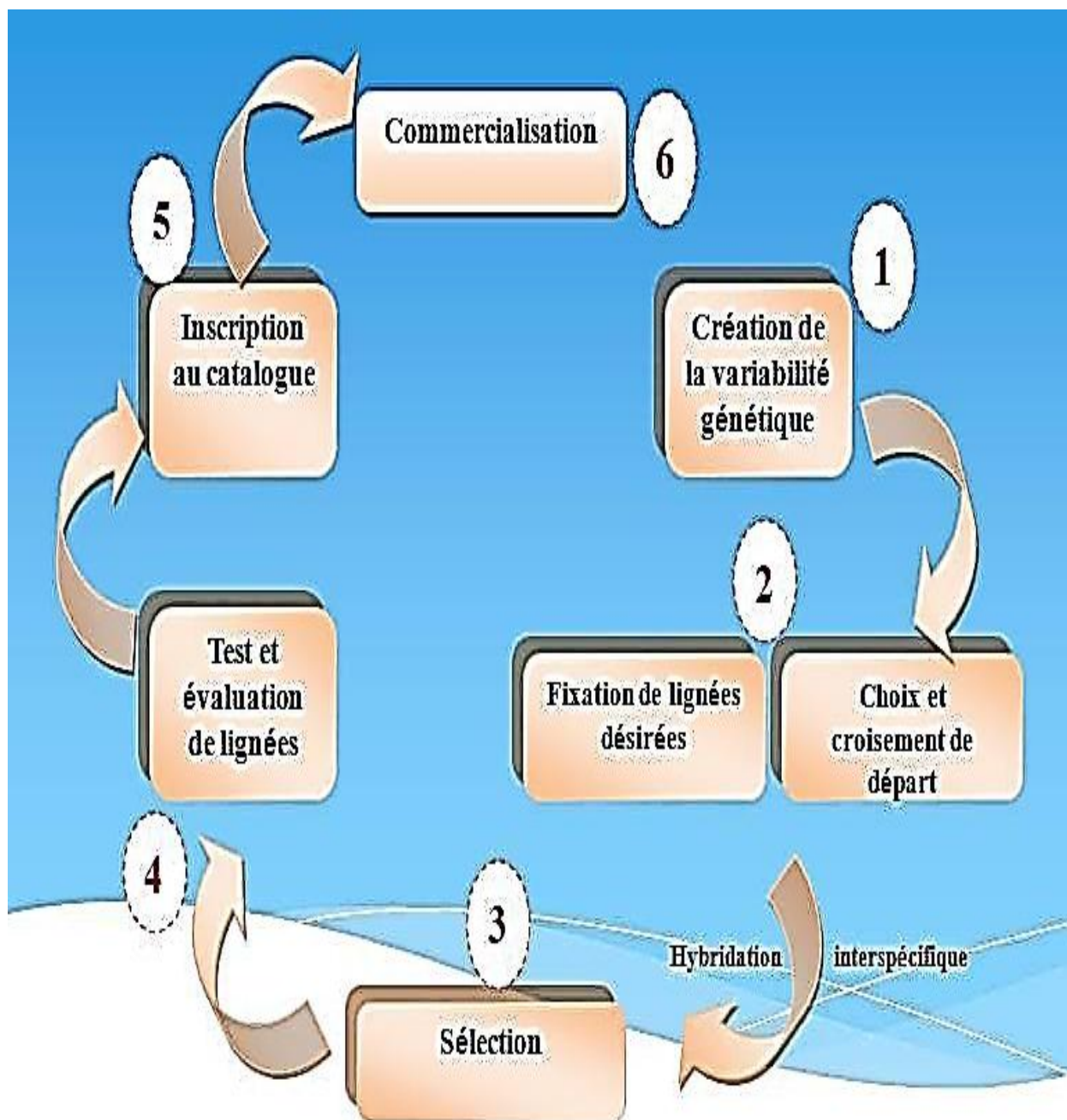


Figure 27: Les différentes étapes de la sélection artificielle.

III-1-3 Les objectifs de la sélection artificielle

Les techniques de sélection artificielle ont pour objectif de créer des variétés correspondant aux besoins de l'homme pour les cultures, la consommation, l'état sanitaire ou encore l'impact environnemental. Les nouvelles variétés sont créées pour divers objectifs (tableau 3).

Tableau 3 : les buts réalisés par la sélection végétales dans différents domaines

Objectifs de cultures	Objectifs de consommation	Objectifs sanitaires	Objectifs environnementaux
Augmenter la productivité	Améliorer les qualités nutritionnelles, gustatives, visuelles	Augmenter leur résistance aux maladies, parasites, agents infectieux	Diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires
Augmenter la durée de conservation	stabiliser la sécurité alimentaire	Augmenter la production de molécules pouvant être utilisées dans l'industrie pharmaceutique	Lutter contre le changement climatique : réduire la sensibilité au stress hydrique, améliorer l'adaptation aux sols et aux climats
Améliorer la qualité de la récolte			
La création variétale et donc l'augmentation de la biodiversité			
Favoriser la croissance, la précocité, la fécondité et la fertilité des plantes			

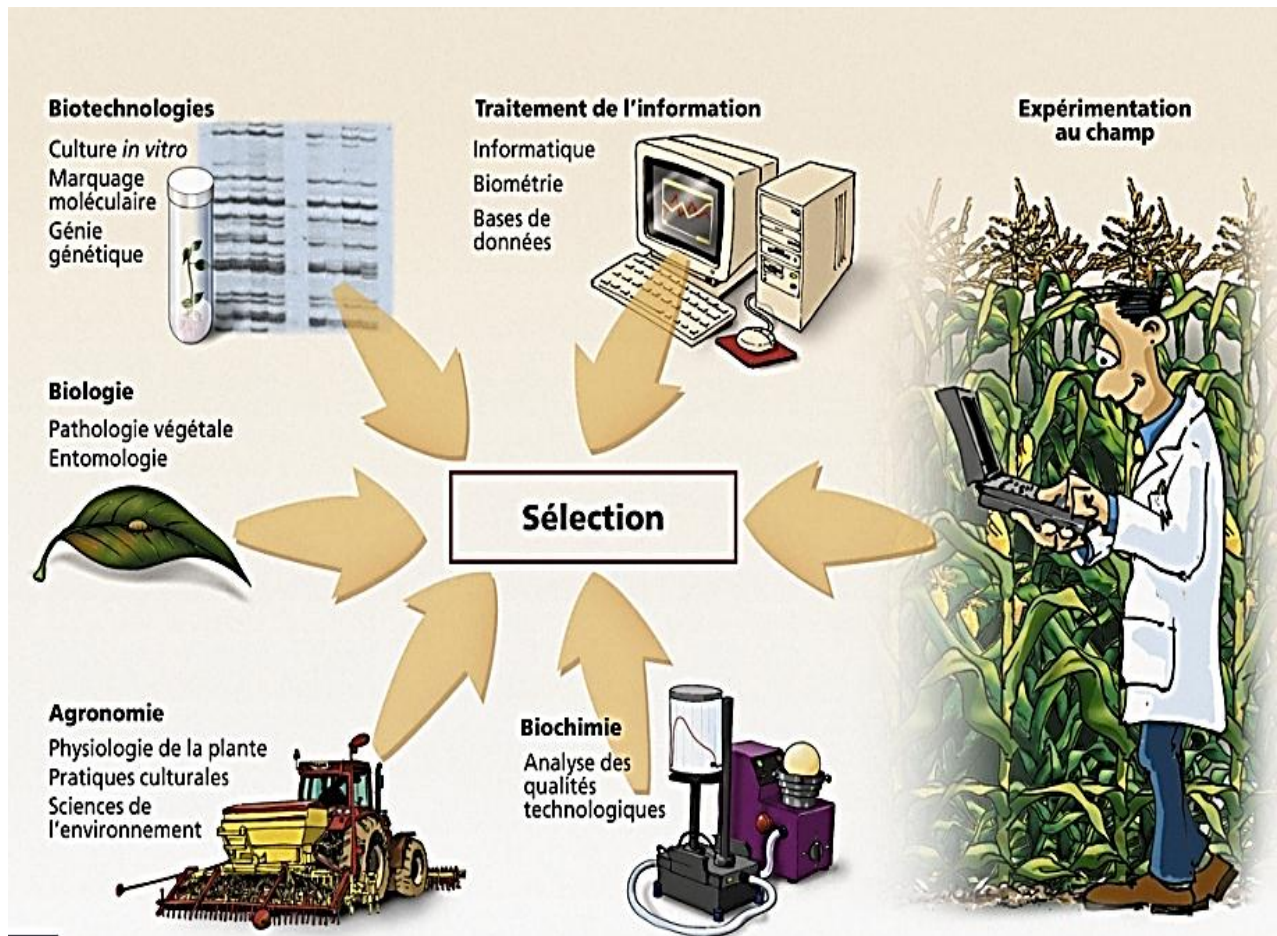


Figure 28: La sélection est une activité pluridisciplinaire.

L'expérimentation au champ est indispensable pour évaluer les nouvelles variétés en conditions réelles de culture : diversité des conditions climatiques, pédologiques, compétition entre plantes, pression de maladies et de parasites... De nombreuses disciplines, les **biotechnologies**, le **traitement de l'information**, la **biologie**, l'**agronomie** et la **biochimie**, offrent des outils précieux aux sélectionneurs et permettent d'accroître l'efficacité des programmes de sélection.

L'expérimentation au champ ne prend donc en compte que des plantes dont le potentiel génétique est important. Ceci renforce l'efficacité du travail d'expérimentation, et peut également l'alléger en écartant des plantes de moindre intérêt.

Parmi ces techniques, les biotechnologies rassemblent : la biologie cellulaire dont la base est la culture in vitro de cellules végétales, la biologie moléculaire qui permet d'analyser et de caractériser l'information génétique par marquage moléculaire et de la modifier par génie génétique.

III-2 La maîtrise de la reproduction en amélioration des plantes

III.2.1 Les modes de reproduction chez les plantes

L'application des principes et des techniques d'amélioration dépend beaucoup du mode de reproduction de l'espèce

III.2.1.1-Autogamie : pollinisation directe

c'est un régime de reproduction où un individu issu de la fusion de deux gamètes, provenant toujours du même individu. il s'agit d'une **autofécondation** qui influe sur tout le génome (**individus consanguins**)= **lignées pures** . même patrimoine génétique (figure 29), mais **pas de brassage génétique**.

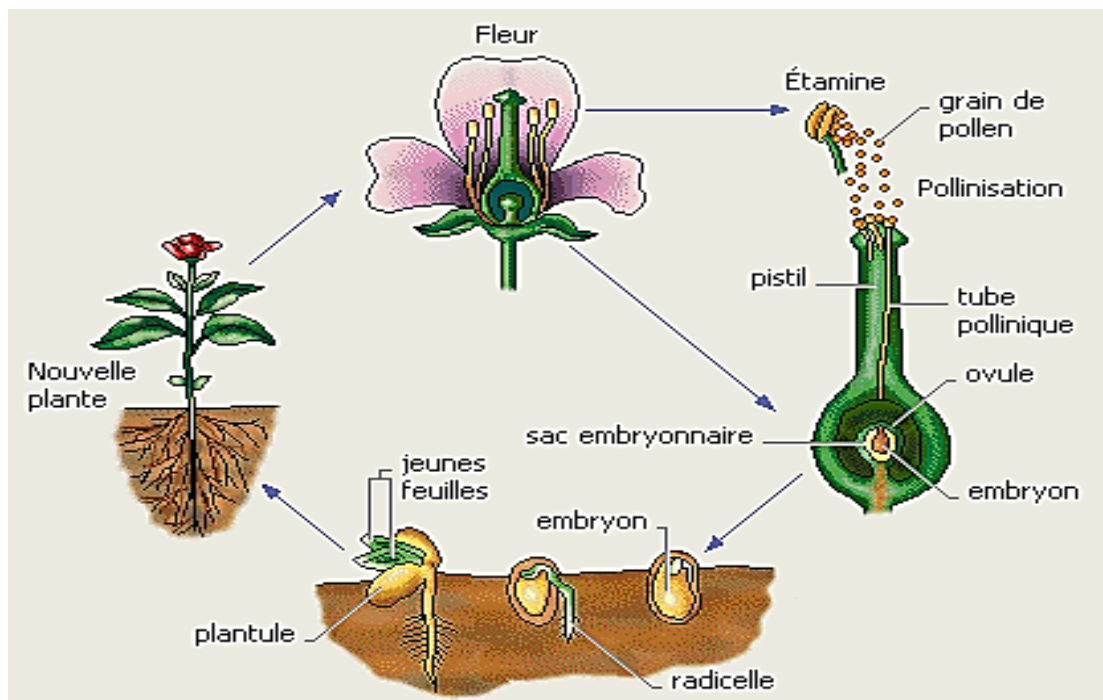


Figure 29: Les stades de la plante autogame.

Exemple:

Avoine, orge, riz, sorgho, colza, coton, haricot, lin, pois, piment, soja, tabac, tomate,

Chez les plantes autogames, la dispersion du pollen est très faible. La fécondation peut avoir lieu avant même l'ouverture de la fleur. Ces plantes sont dites cléistogames. Cependant, l'autogamie stricte étant rare, il y'a souvent un résidu d'allogamie (de l'ordre de 5% chez le blé).

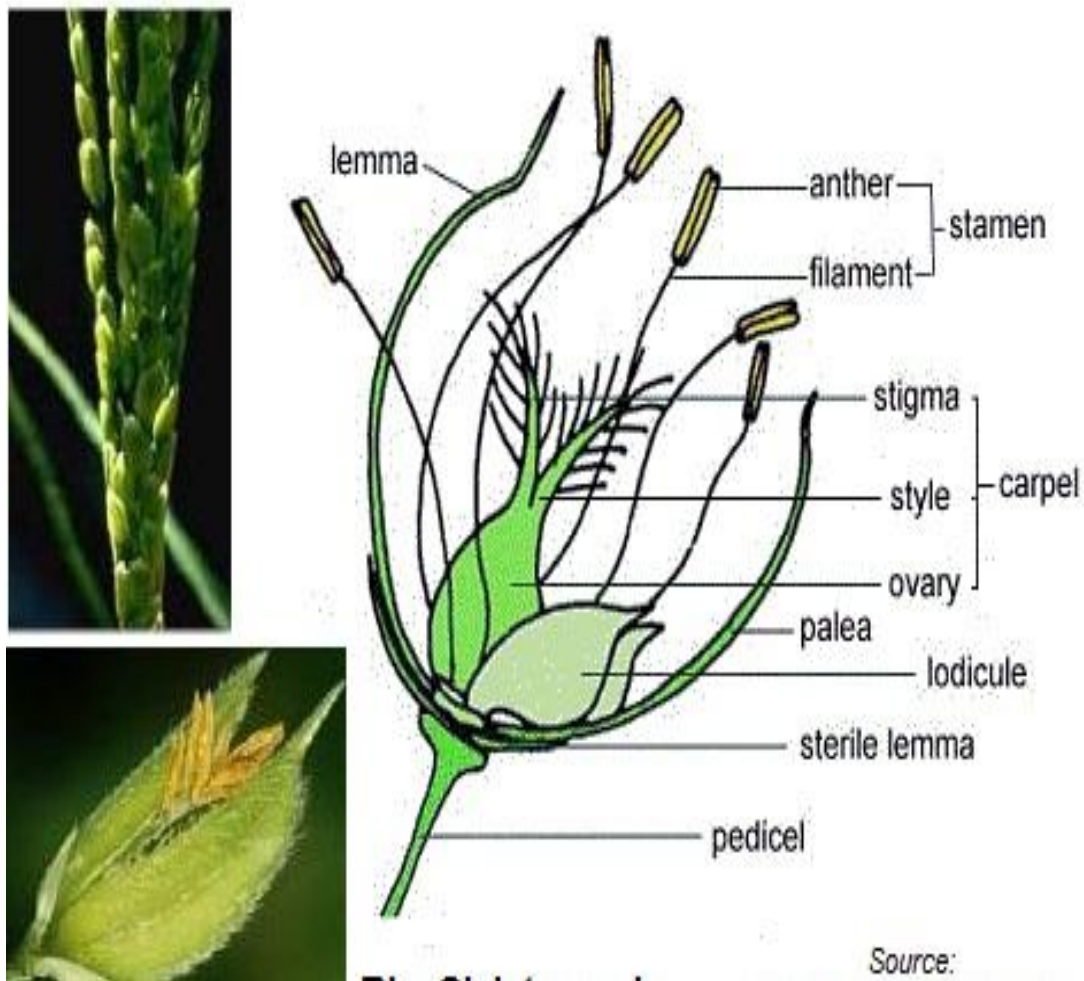


Figure 30: Cleistogamie chez le riz.

III.2.1.2 Allogamie : pollinisation croisée

c'est un régime de reproduction où les individus ne peuvent s'accoupler que s'ils ont des phénotypes différents, la dispersion du pollen est importante.

La fécondation est croisée. Celle-ci est favorisée par plusieurs mécanismes, dont la monoïque (deux sexes séparés sur la même plante), la dioïque (sexes séparés sur des pieds différents), l'auto-incompatibilité et la compétition pollinique favorisant le pollen étranger et la nécessité d'intervention des insectes. Patrimoines génétiques différents, brassage génétique

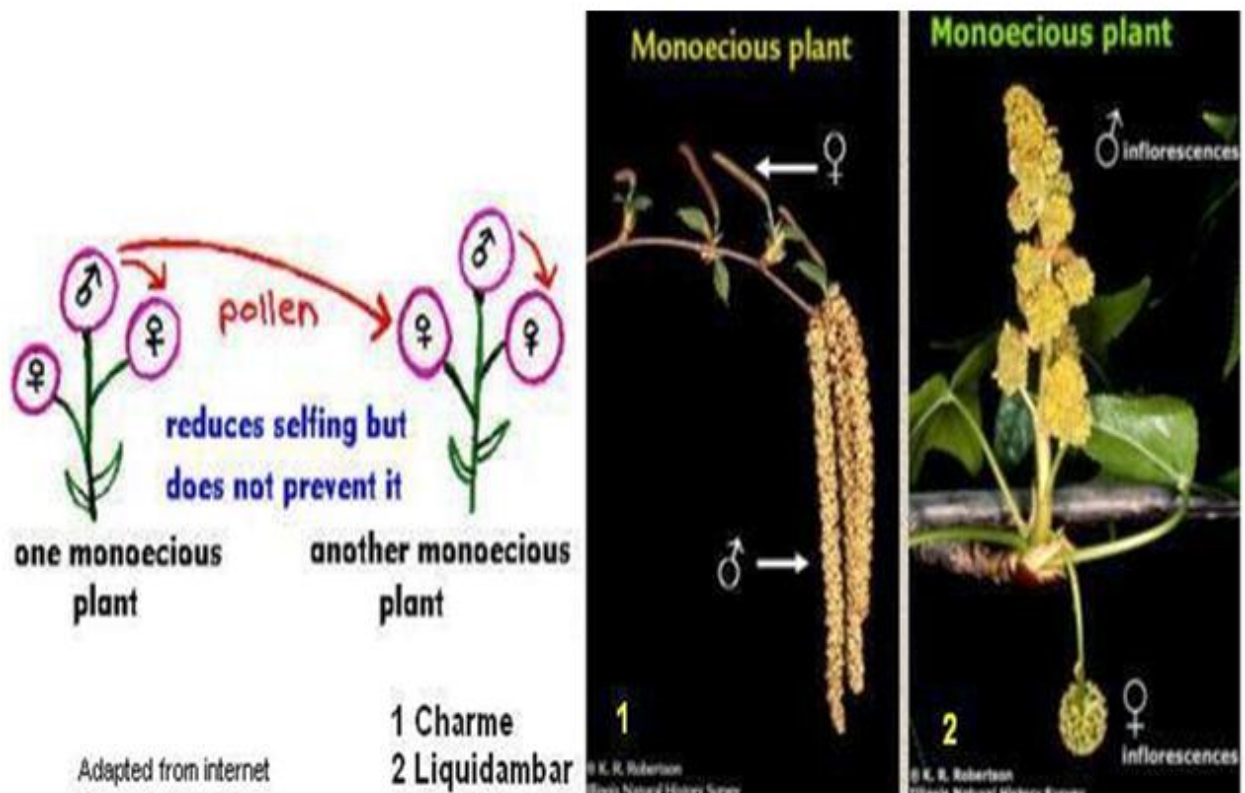


Figure 31: les plantes monoïques

- 1- Fleurs hermaphrodites et existence de barrières .**Exemple** luzerne où il y'a intervention d'un insecte pour le transport du pollen et l'ouverture de la fleur.
- 2- Fleurs hermaphrodites et séparation des sexes dans le temps :protandrie (ex. carotte), protogynie (ex. avocatier)
- 3- Monoïcie et séparation des sexes dans l'espace
- 4- Dioécie et séparation des sexes dans l'espace
- 5- Stérilité et auto-incompatibilité

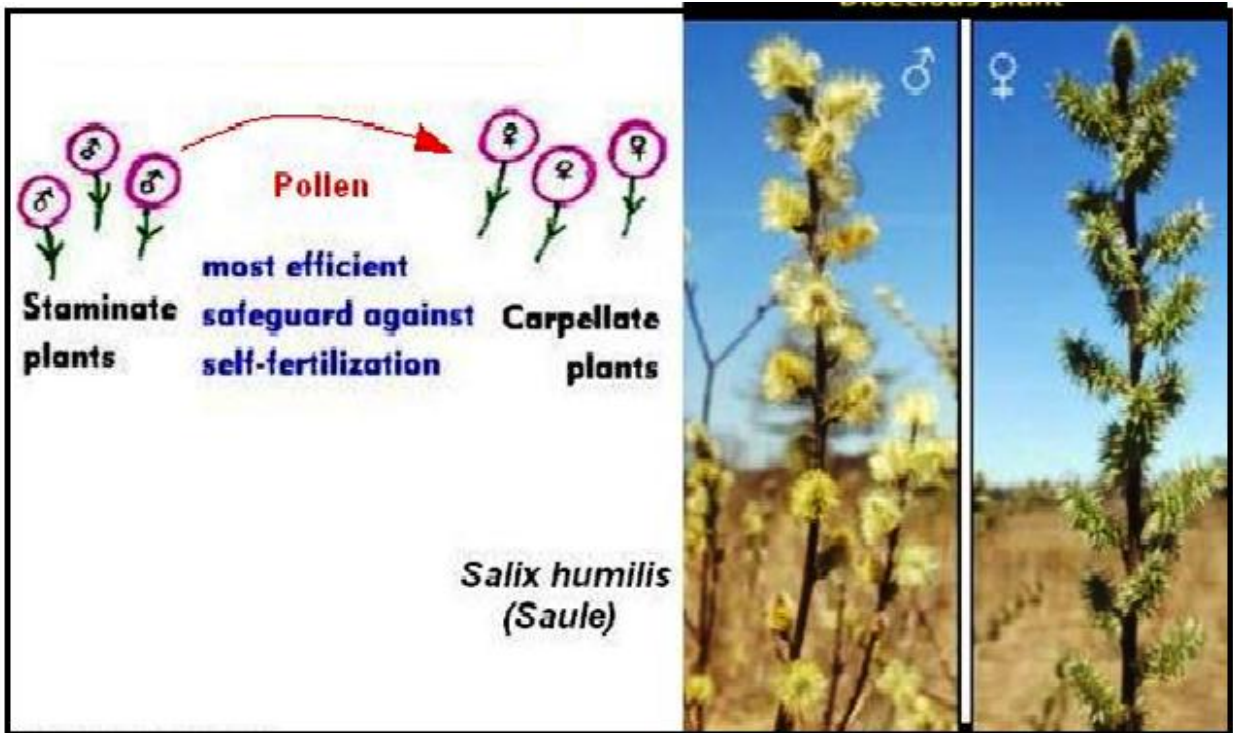


Figure 32: les plantes dioïques.

III.2.1.3 Reproduction asexuée (apomixie):

L'apogamie:

Une cellule du sac embryonnaire est à l'origine de la graine.

Parthénogénèse :

C'est le développement d'un embryon à partir d'un oosphère non fécondé.

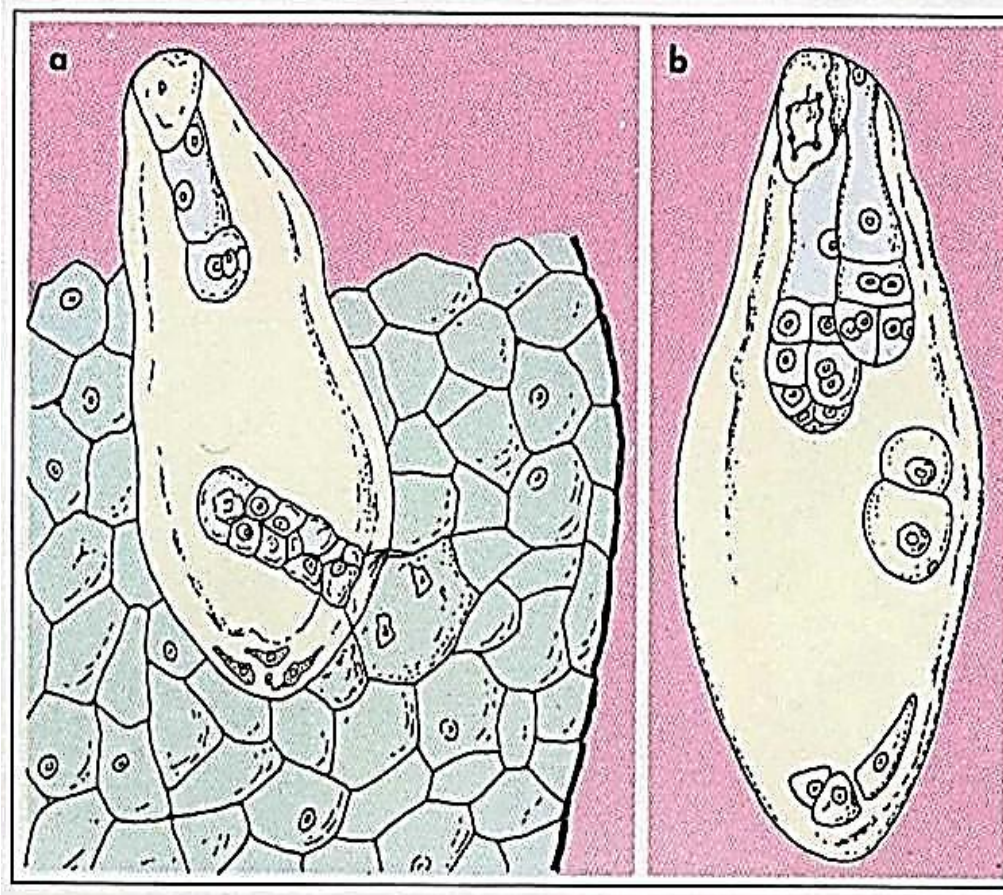


Figure 33: a- Sac embryonnaire d'*Alchimilla pastoralis*: une cellule de nucelle et l'oosphère non fécondée forment l'une et l'autre un embryon .
 b- d'*Alchimilla sericata* : une synergide et l'oosphère non fécondée forment chacune un embryon...

III.2.1.3 La propagation végétative

La multiplication végétative et la sélection clonale: créer un individu à partir d'un organe de l'appareil végétatif (bulbe tubercule...), c'est la seule voie possible pour **les espèces stériles** comme les bananiers.

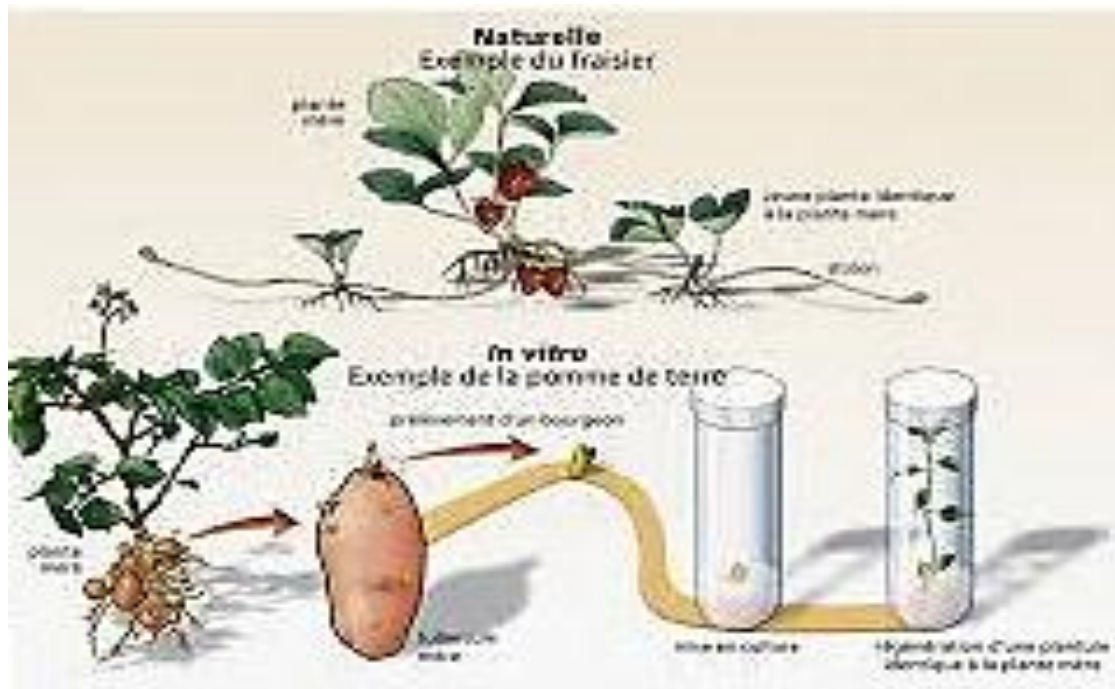
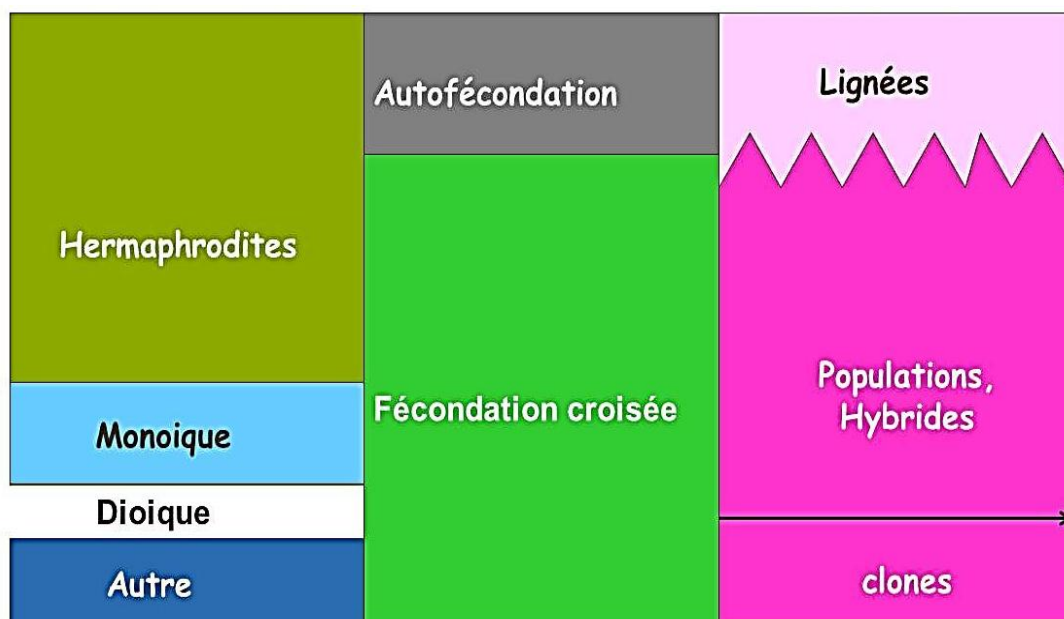


Figure 34: culture invitro des tomates et pomme de terre.

Nous résumons tous les types de reproductions principales chez les plantes dans le schéma ci-dessous.



III.3 Les Techniques d'amélioration des plantes

III.3.1 Amélioration des plantes autogames

L'**autofécondation** est la fécondation d'un ovule par du pollen issu de la même plante.

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

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

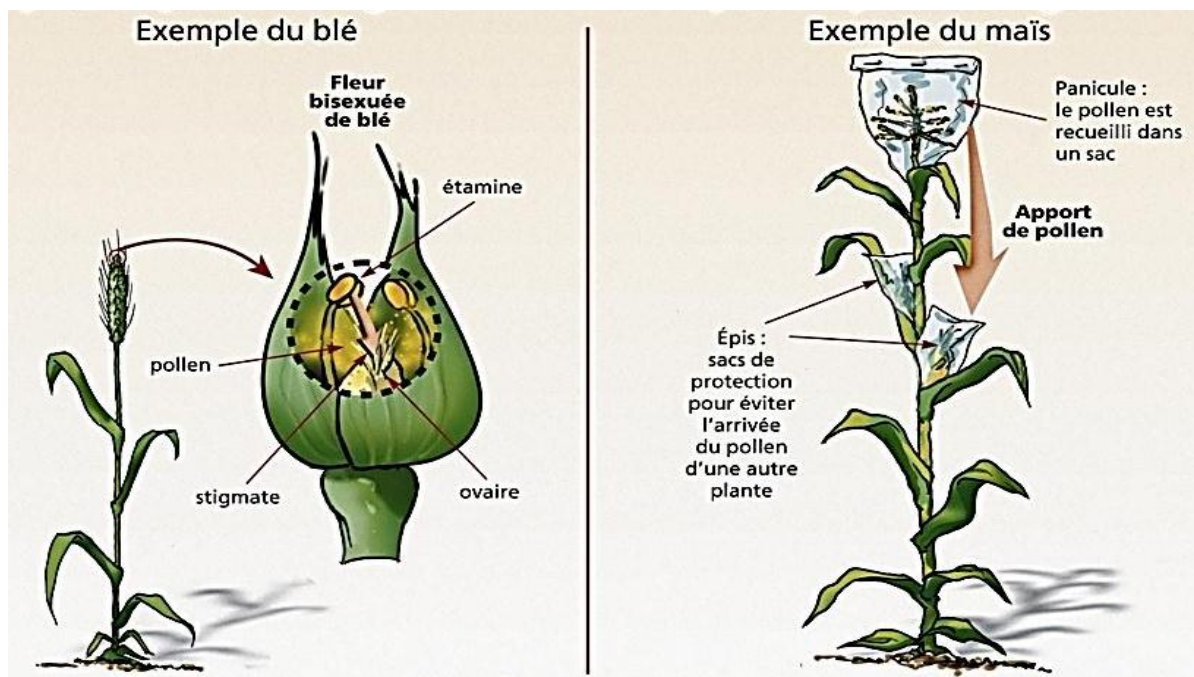


Figure 35: Schéma montrant l'autofécondation naturelle pour les plantes autogames (blé) et provoquée par le sélectionneur pour les plantes allogames (maïs).

Naturelle pour les plantes autogames

L'autofécondation est le mode de reproduction habituel des plantes autogames, par exemple du blé, de l'orge et du pois. Leurs fleurs sont bisexuées ou hermaphrodites, c'est-à-dire qu'elles possèdent des organes mâles et femelles dans la même fleur, et la maturité des gamètes est simultanée. (figure 35).

Provoquée par le sélectionneur pour les plantes allogames

Les plantes allogames s'autofécondent rarement. Cependant, le sélectionneur peut souhaiter provoquer l'autofécondation. Pour le maïs, cette pratique est facile, car les fleurs mâles et femelles sont séparées. Les inflorescences femelles sont placées sous sachet pour éviter toute pollution par du pollen étranger. Sur l'inflorescence mâle du même pied, le pollen est recueilli par la pose d'un sachet. Il est ensuite apporté sur les fleurs femelles. (figure 35).

Les individus se reproduisant uniquement par autofécondation sont homozygotes pour tous les gènes. Il y a donc stabilité des caractères au fil des générations, puisque toutes les gamètes mâles et femelles sont identiques. Ce sont des lignées pures

Les principes de l'amélioration des plantes autogames sont représentées dans la figure 36..

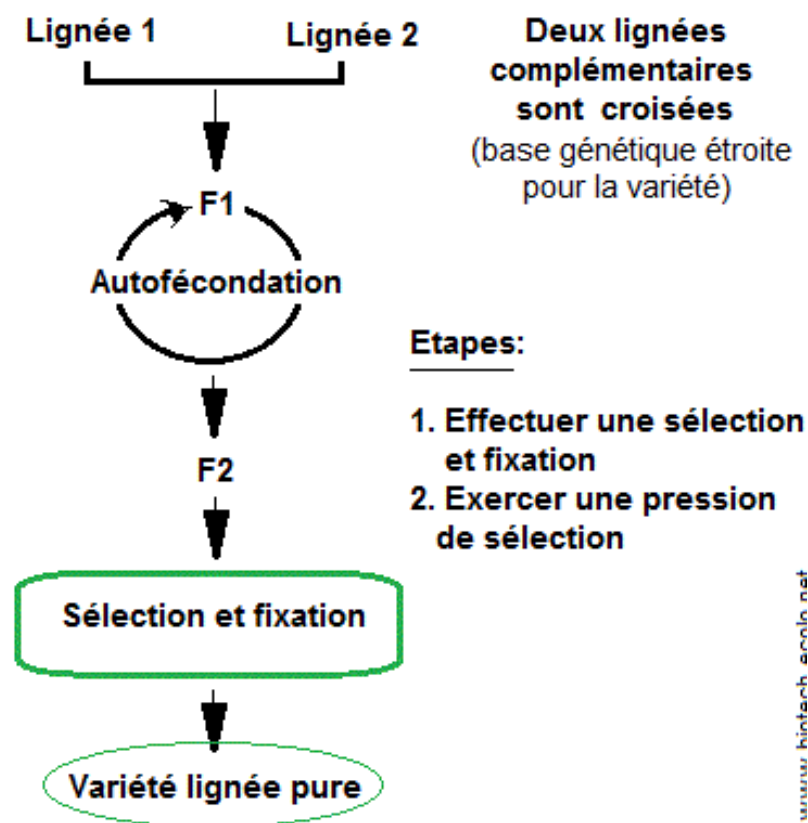


Figure 36: principe d'amélioration des plantes autogames.

II.3.1.1 Sélection généalogique = *Sélection Pedigree*

La méthode pedigree (sélection généalogique) permet d'isoler rapidement des traits désirables concernant des caractères à **hérédité qualitatives** comme la résistance aux maladies, la précocité et la couleur de la graine. Les caractères à hérédité quantitative, en particulier le rendement, sont plus difficiles à évaluer au cours des premières générations (F2 et F3) sur la base d'une plante individuelle (figures 37, 38).

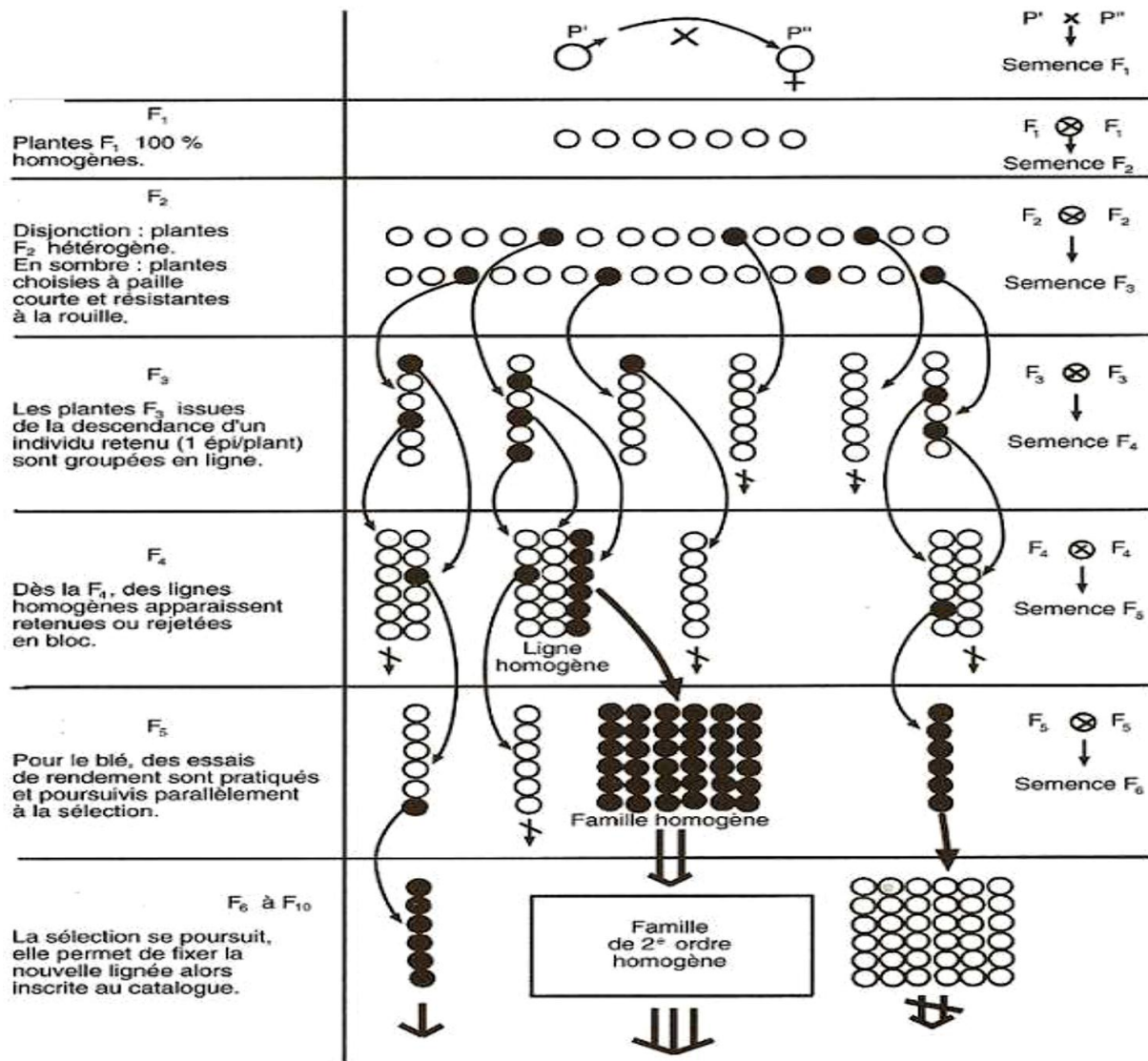


Figure 37: Les étapes de la sélection généalogique après hybridation (cas du blé).

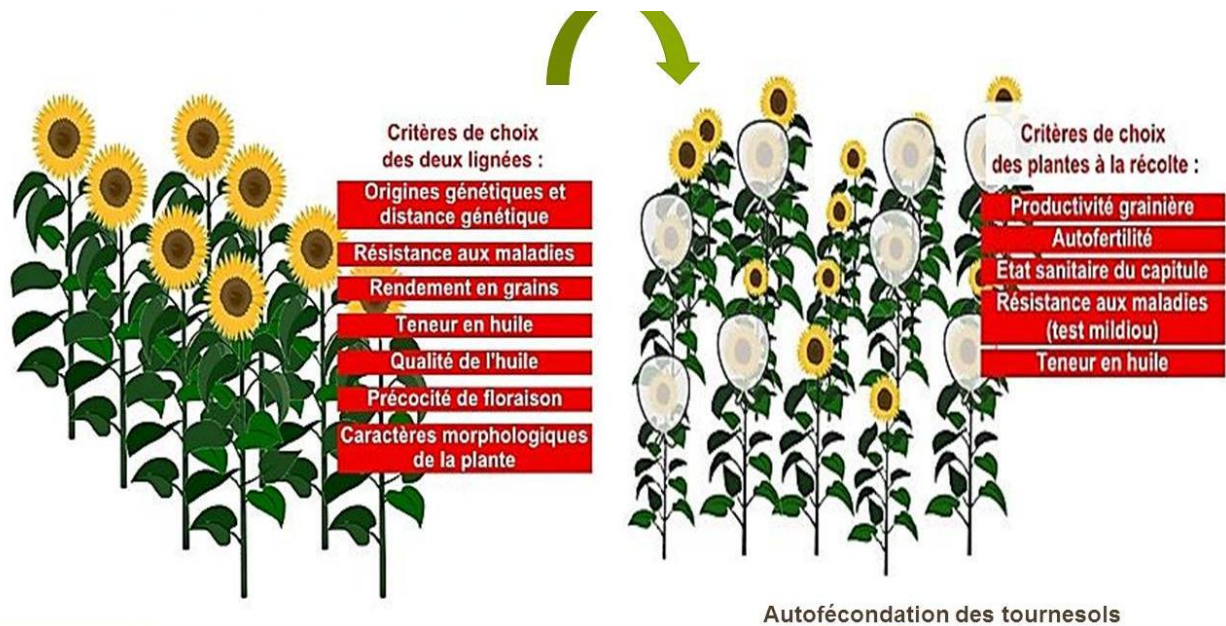


Figure38: Exemple de sélection généalogique chez le tournesol.

III.3.1.2 Sélection Bulk

La méthode bulk est également appelée sélection généalogique différée car dans cette méthode, la sélection a lieu après fixation des lignées. Le nombre de graines retenues pour l'étape suivante d'autofécondation est limité pour des raisons pratiques, mais aucune sélection n'est effectuée à ce niveau. Les autofécondations sans sélection sont répétées sur 4 à 5 générations au total, ce qui permet d'obtenir des lignées fixées.

Mecanismes biologiques limitant l'autofécondation :

- Cas des espèces a fleurs hermaphrodites.
- Cas des espèces a fleurs imparfaites.
- La mise en place des mecanismes tels que la stérilité male ou l'auto incompatibilité

III.3.4 L'obtention d'une lignée pure à partir d'une plante hétérozygote

**Est-ce qu'on peut obtenir une lignée pure à partir d'une plante hétérozygote
?????**

Une plante hétérozygote pour un caractère possédera, par exemple, deux allèles A et a à un locus donné. Après une autofécondation, 1/4 des individus seront homozygotes AA, 1/4 homozygotes aa et 1/2 hétérozygotes Aa. Après une deuxième autofécondation, la proportion d'homozygotes augmente, on obtient 3/8 d'homozygotes AA, 3/8 d'homozygotes aa, et 1/4 d'hétérozygotes. En continuant ainsi, la proportion des individus hétérozygotes diminue de moitié à chaque génération. Au bout de 7-8 générations, on estime que tous les individus sont fixés, c'est-à-dire suffisamment homozygotes (voir le schéma ci-dessous).

Régression des hétérozygotes sous l'effet de l'autofécondation

Génération	Évolution des fréquences de génotypes {12 gène avec 2 allèles A et a}	Fréquences des	
		hétérozygotes	homozygotes
Parents	AA x aa Croisement	0	100 %
Hybride F ₁	1 Aa Autofécondation	100 %	0 %
Génération suivante F ₂	1/4 AA, 1/2 Aa, 1/4 aa Autofécondation	50 %	50 %
F ₃	1/4 AA + 1/8 AA', 1/4 Aa, 1/8 aa' + 1/4 aa Autofécondation	25 %	75 %
F ₄	5/16 AA, 1/8 Aa, 5/16 aa	12,5 %	87,5 %
...	Sélection généalogique Séparation des descendance		

Source : Techniques agricoles (n° 2341 « Sélection végétale »).

III.3.2 Amélioration des plantes allogames

III.3.2.1 L'hybridation

Les bases de cette technique 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.

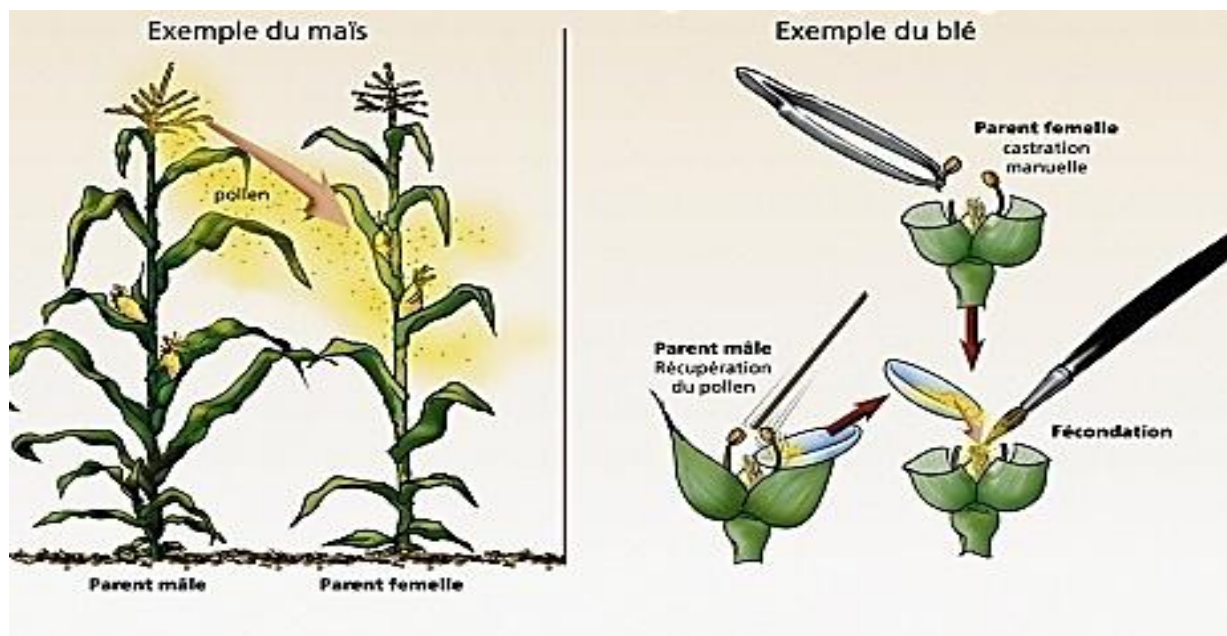


Figure 39: Schéma montrant l'hybridation naturelle pour les plantes allogames (maïs) et provoquée par le sélectionneur pour les plantes autogames (blé).

L'hybridation est la fécondation croisée de l'ovule d'une plante par du pollen d'une autre plante de la même espèce.

Naturelle pour les plantes allogames (figure 39)

Les plantes allogames privilégient la fécondation croisée. Elle a lieu pour les plantes qui ont des pieds mâles et femelles séparés, ce sont des espèces dioïques, comme

l'asperge. La dissémination du pollen est réalisée par le vent et les insectes. Chez certaines espèces dites monoïques comme le maïs, les fleurs mâles et femelles sont séparées, mais présentes sur un même pied. La fécondation croisée est favorisée car les organes mâles et femelles d'une même plante ne viennent pas à maturité en même temps. Enfin, pour des espèces où les fleurs sont bisexuées, il peut exister des barrières physiologiques ou physiques à l'autofécondation (luzerne, orchidées, primevère), imposant là encore la fécondation croisée.

-

Provoquée par le sélectionneur pour les plantes autogames

Le sélectionneur, lorsqu'il croise deux plantes pour associer des caractères intéressants, réalise une fécondation croisée ou hybridation. Sur le blé par exemple, les deux géniteurs étant choisis, le sélectionneur va castrer manuellement les fleurs d'un épi, c'est-à-dire retirer toutes les étamines contenant le pollen. Cette plante constituera la plante femelle. Il récupère ensuite le pollen de l'autre parent, qu'il dépose sur le stigmate de l'épi, c'est-à-dire retirer toutes les étamines contenant le pollen. Cette plante constituera la plante femelle. Il récupère ensuite le pollen de l'autre parent, qu'il dépose sur le stigmate de l'épi femelle castré.

Quelques plantes cultivées allogames

Céréales : maïs, mil, seigle.

Légumineuses fourragères : luzerne, trèfle violet, trèfle blanc, lotier.

Graminées fourragères : dactyle, fétuque, ray-grass.

Espèces légumineuses : carotte, céleri, chicorée, chou, concombre, épinard, melon, oignon, navet.

Espèces industrielles : betterave, caféier canephora, chanvre, tournesol.

Espèces forestières la plupart: chêne, hêtre, pins,...

.

III.3.2.1.1 Création des variétés hybrides

Chez les plantes allogames, comme le maïs, l'hybridation permet de réaliser une variété hybride et de profiter ainsi de l'hétérosis, c'est-à-dire de cumuler de nombreux caractères intéressants par rapport à ses deux parents, ce qui confère une vigueur générale plus importante que l'on appelle vigueur hybride. (figure 40).

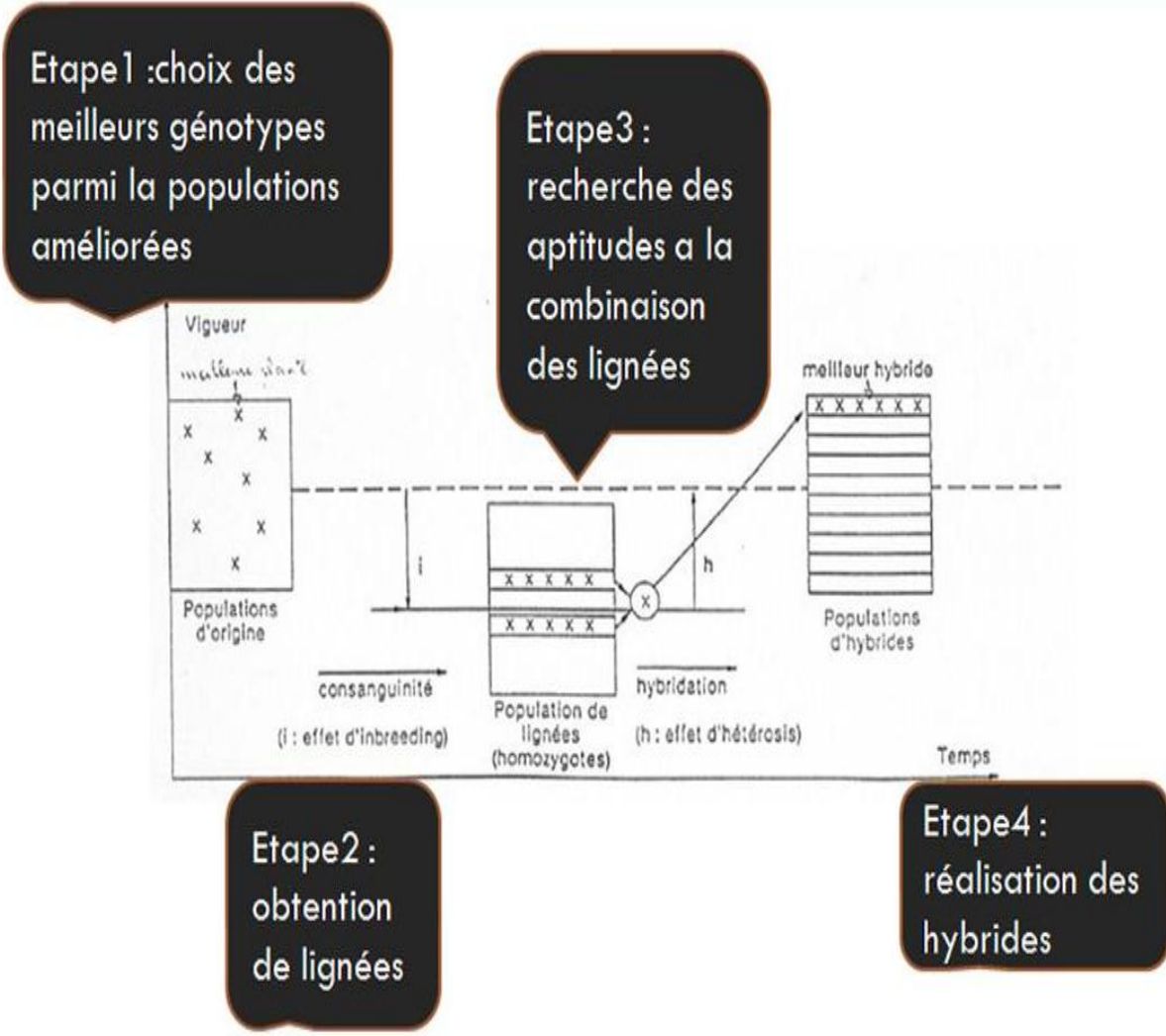
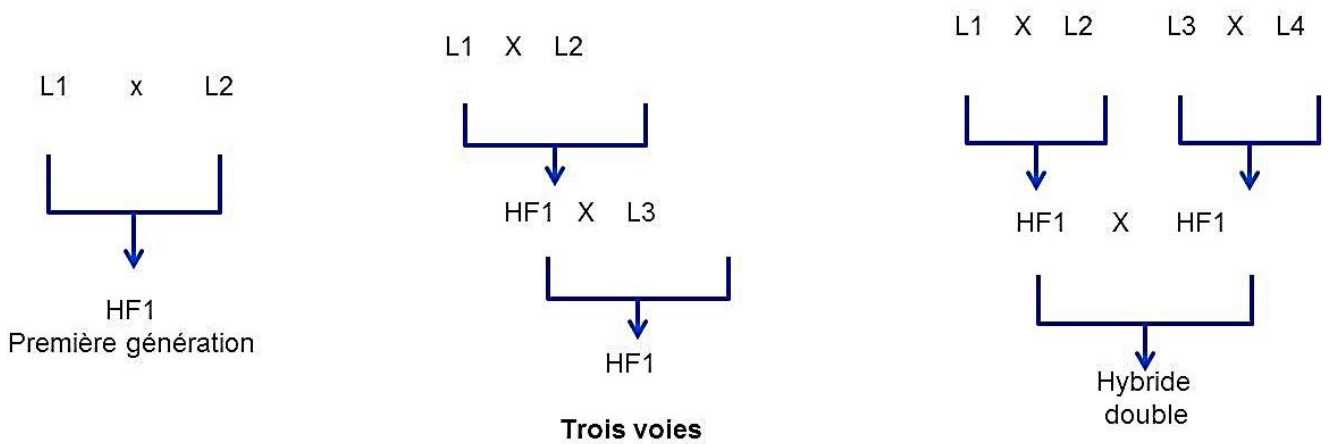


Figure 40 : les différentes voies de la création des variétés hybrides.

Exemple (figure 41).



Figure 41 : les variétés hybrides adaptées en conditions hydriques en Niger.

Les avantages et les inconvénients des variétés hybrides sont décrits dans le tableau suivant:

Avantages

Association dans un génotype de caractères dominants

- Performances maximales associées à l'utilisation de l'hétérosis
- Stabilité des performances selon le milieu
- Homogénéité

Inconvénients

- Complexité et longueur du cycle de création des hybrides
- Contraintes et coût de la production des semences

On peut citer à titre d'exemple de croisements interspécifiques ayant donné **des hybrides d'intérêt commercial**:



clemenvilla : hybride de clémentine et de tangerine



aprium et pluot : hybrides de prunier et d'abricotier ;



caseille : hybride de cassissier et de groseillier épineux



limequat : hybride de kumquat et de lime (*Citrus aurantifolia* x *C. fortunella*) ;

L'introduction de gènes de résistance par croisements interspécifiques

La tomate cultivée *Lycopersicon esculentum* possède une variabilité génétique faible. En revanche, les tomates sauvages possèdent de nombreux gènes de résistance aux maladies notamment l'espèce *Lycopersicon peruvianum*. Les barrières d'incompatibilité avec les espèces sauvages génétiquement les plus éloignées de la tomate cultivée ont été contournées grâce au sauvetage d'embryons.

La courgette est une espèce fortement attaquée par l'oïdium, les virus de la mosaïque du concombre et de la mosaïque de la pastèque. Les variétés cultivées, *Cucurbita pepo*, sont insuffisamment résistantes à ces parasites. Des croisements avec des espèces sauvages américaines résistantes, *Cucurbita okechobeenis* et *Cucurbita ecuadorensis*, ont été réalisés grâce au sauvetage d'embryons immatures, rendant ainsi possible l'amélioration de la résistance aux maladies des variétés cultivées.

La laitue *Lactuca sativa*, est une espèce sensible au mildiou. Le mildiou de la laitue (*Bremia lactucae*) est la maladie la plus redoutée sur cette espèce, notamment en culture biologique d'hiver sous abris. Le croisement avec deux espèces sauvages, *Lactuca virosa* et *Lactuca saligna*, possédant des gènes de résistance intéressants est difficile à réaliser. Le sauvetage d'embryons interspécifiques a permis d'augmenter

III.3.2.1.2 Création des variétés synthétiques

C'est une population artificielle obtenue par multiplication en croisement d'un nombre limité de parents sélectionnés sur leurs valeurs propres et leurs aptitudes à leurs combinaisons.

Tableau 2: les avantages et les inconvénients de la technique de création des variétés synthétiques.s:

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Coût des semences relativement faible - Plasticité de la variété - Cycle de sélection assez court 	<ul style="list-style-type: none"> - Hétérogénéité de la variété - Risque de déviations - Performances non maximales



Figure 42: Polycross des graminées fouragères.

III.3.2.2 Selection récurrente

c'est une méthode d'amélioration des plantes, où les croisements sont cette fois contrôlés, ce qui conduit à la sélection de lignées ou d'hybrides. C'est l'aptitude d'une population à bien se croiser avec un testeur (figure 43).

III.3.2.3 Le rétrocroisement

Le rétrocroisement ou back-cross est une des techniques de base de l'amélioration des plantes. Elle est utilisée pour introduire un gène qui code pour un caractère intéressant, d'un parent dit donneur, dans le génome d'une variété

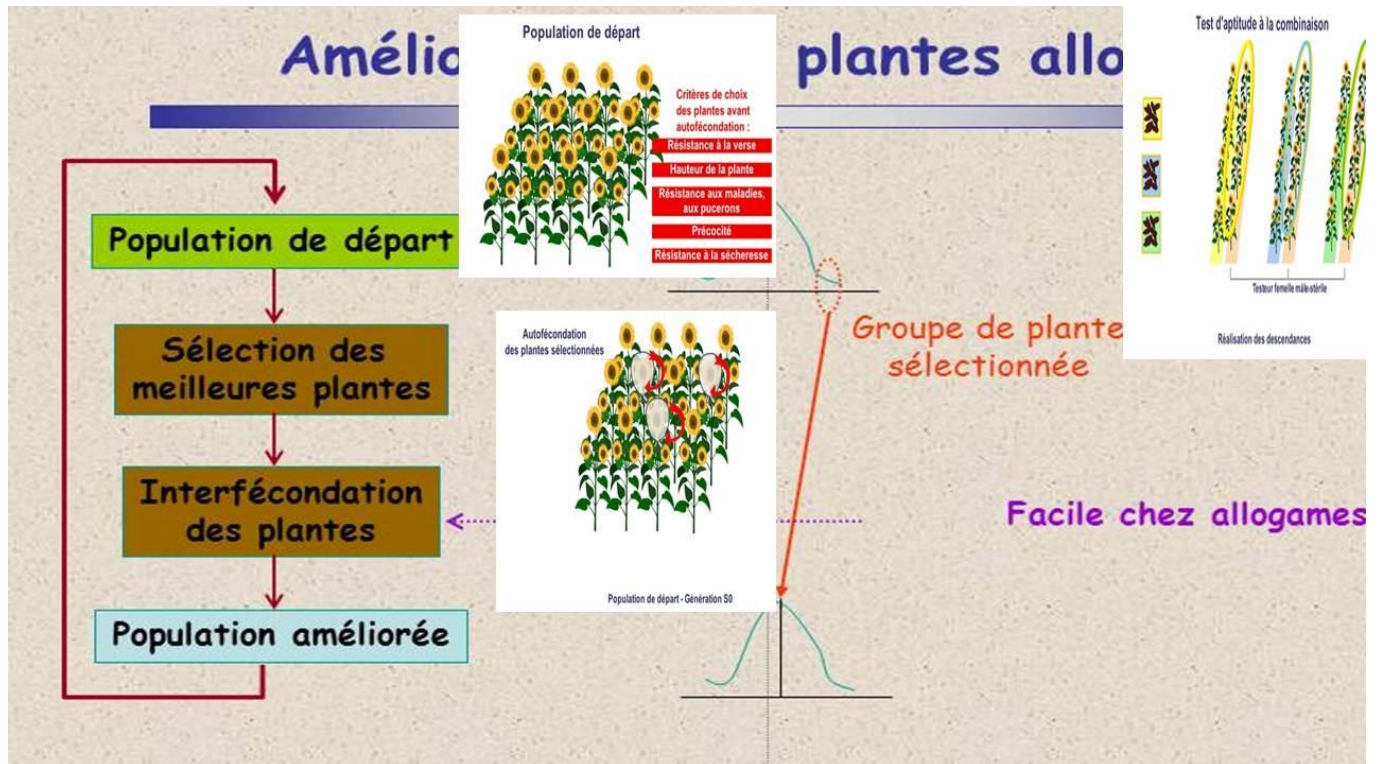


Figure 43: Les étapes de la sélection reccurrente.

existante élite de bonne valeur agronomique dite le parent récurrent (receveuse). Pour cela, on réalise une série de croisements entre la lignée receveuse (élite), et la plante donneuse du caractère. Les descendants ayant le caractère désiré sont ensuite croisés pendant plusieurs générations par la lignée élite receveuse (récurrente).. Après le 7eme rétrocroisement, la part de la lignée élite receveuse est de 97%, c'est-à-dire que la lignée obtenue est quasiment identique ou isogénique de la lignée élite receveuse, mais contenant en plus le caractère désiré.

Exemple: Back-cross dans le cas d'un gène de resistance dominant_(figure 44).

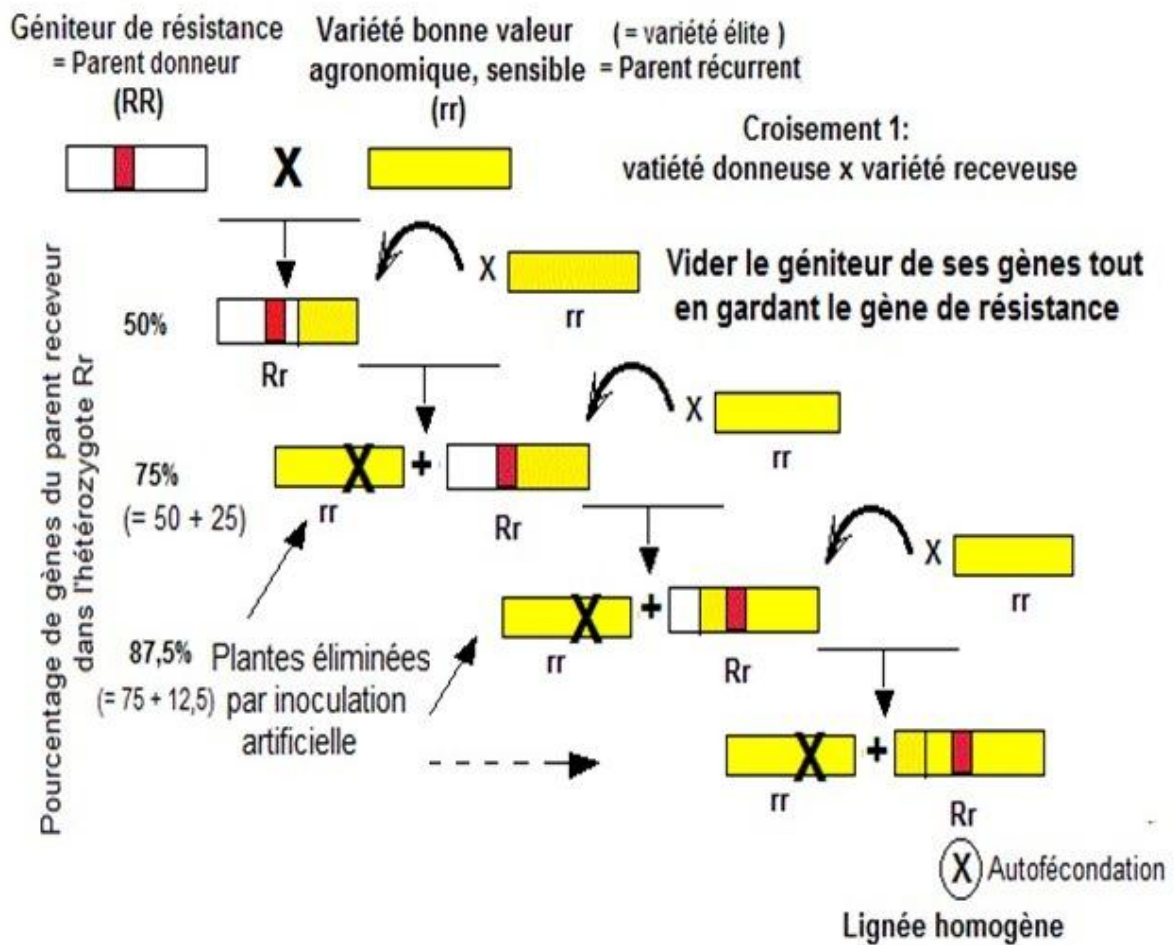


Figure 44: Les étapes d'un rétrocroisement (back-cross) dans le cas d'un gène de résistance dominant.

La génétique du rétrocroisement

Les descendants issus du premier croisement possèdent 50% du patrimoine génétique de la lignée élite et 50% du patrimoine du donneur. Lors des back-cross suivants, la proportion du génotype élite augmente, les individus obtenus au deuxième back-cross sont 75% élite et 25% donneur. Au bout du septième back-cross, la part de la lignée élite est de 96,88%, on estime alors que la lignée obtenue est suffisamment proche de la lignée élite. On tend vers l'obtention d'une lignée isogénique, en ne différant de la lignée élite que par un seul gène.

III.3.2.4 Incompatibilités et stérilité male

-Stérilité mâle cytoplasmique

La stérilité mâle est définie comme une stérilité des organes mâles d'une plante par l'atrophie des étamines ou l'avortement plus ou moins précoce du pollen dans les anthères. Ceci se traduit par l'absence de pollen ou du pollen non viable.

Il est intéressant, en amélioration végétale, de créer des variétés de type "hybride" pour bénéficier de l'effet d'hétérosis. Pour produire une variété hybride, il faut disposer d'une lignée mâle et d'une lignée femelle. Pour obtenir la lignée mâle, il faut castrer la plante. Or la castration (manuelle ou mécanique pratiquée par exemple chez le maïs ou chimique pratiquée chez le blé) n'est pas toujours facile ou possible pour une production de semences à grande échelle.

Des mécanismes de stérilité de type génétique ou cytoplasmique ont été découverts. Ils se manifestent par une absence d'anthères, des anthères vides ou du pollen non viable. Cette stérilité est transmise à la descendance partiellement dans le cas d'une stérilité génique, ou totalement dans le cas d'une stérilité cytoplasmique. Très souvent, c'est une production de graines qui est recherchée pour la plante hybride. Dans ce cas, il convient de restaurer la fertilité. C'est le parent mâle de l'hybride qui aura cette fonction.

Cette stérilité est engendrée par une interaction entre des gènes nucléaires et le cytoplasme en particulier les mitochondries. Elle se manifeste quand un gène de stérilité récessif est à l'état homozygote (rr) dans un cytoplasme stérilisant S que l'on oppose au cytoplasme normal N.

L'exemple du tournesol

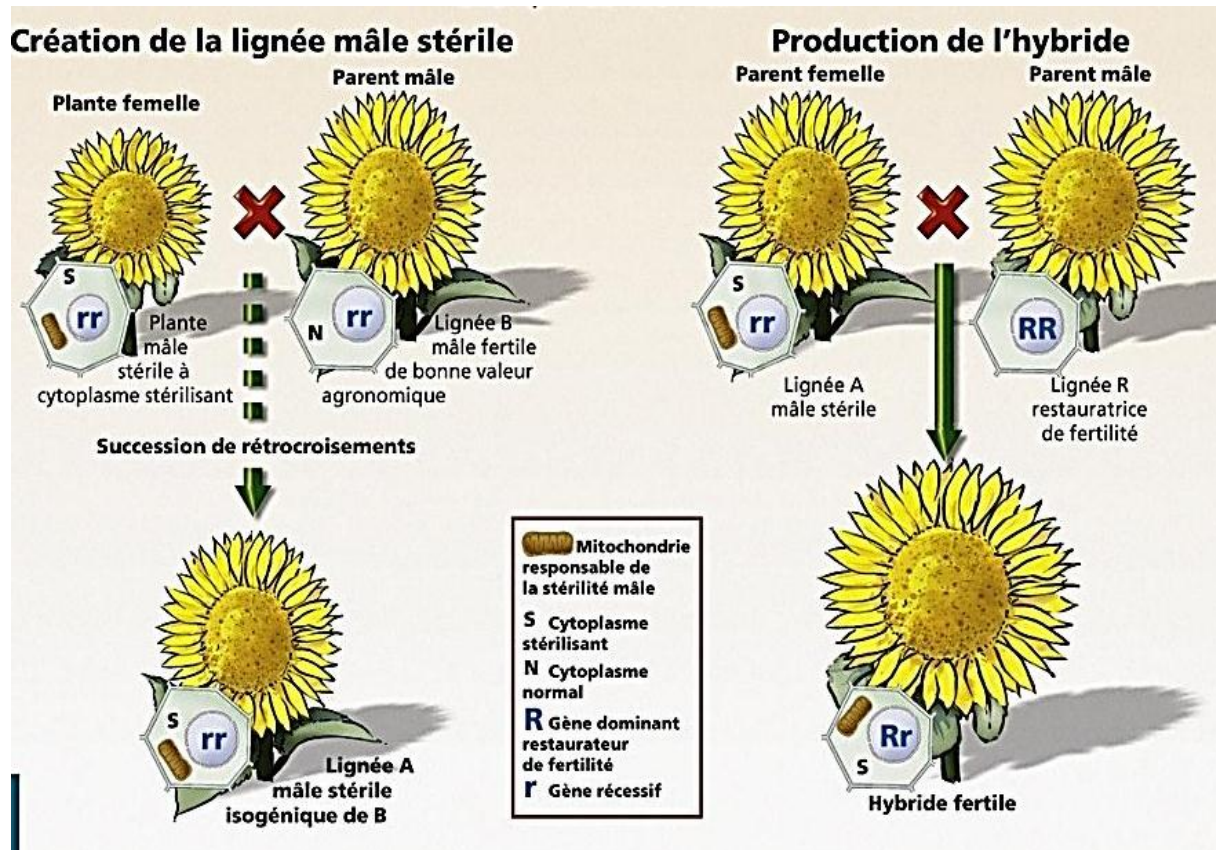


Figure 45: La stérilité male cytoplasmique chez le tournesol.

-Création de la lignée mâle stérile

Une source de stérilité mâle a été découverte pour le tournesol. Cette stérilité est apportée par le cytoplasme d'une plante mâle stérile et transmise automatiquement à sa descendance par le cytoplasme de ses ovules. La lignée mâle fertile de bonne qualité agronomique B, est convertie en son homologue mâle stérile A, par une succession de rétrocroisements avec la plante mâle stérile découverte (figure 45).

-Production d'hybride

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

3/Le maintien de la lignée mâle stérile

La lignée mâle stérile A est maintenue par croisement avec la lignée B qui est une

lignée isogénique de A, c'est-à-dire identique à la lignée A, mais mâle fertile. Cette lignée B mâle fertile est appelée lignée mainteneuse de stérilité.

-Le rôle des mitochondries

Il est admis que certaines déficiences des mitochondries présentes dans le cytoplasme interviennent dans la stérilité mâle cytoplasmique. Ces organes producteurs d'énergie sont alors incapables de fournir les grandes quantités d'énergie nécessaires pour produire des grains de pollen fonctionnels.

III.3.3 Amélioration des plantes à multiplication végétative

Certains végétaux se multiplient naturellement sans passer par la reproduction sexuée.

Un nouvel individu se forme à partir d'un organe de la plante "mère" :

- La multiplication par stolons. Dans le cas du fraisier, il y a formation de tiges aériennes rampantes. De place en place, se forment des bourgeons et des racines qui sont le point de départ de nouveaux pieds.

- La multiplication par tubercules. Pour la pomme de terre, des tiges souterraines renflées par les réserves permettent d'obtenir une nouvelle plante par développement de bourgeons (les yeux, donnant des germes).

- La multiplication par rhizomes. Ce sont des tiges souterraines pouvant s'enraciner et donner une nouvelle plante.

- La multiplication par bulbilles, chez l'ail. Les bulbes secondaires, formés sur le côté du bulbe, sont capables de s'en détacher, puis de s'enraciner pour se développer en une nouvelle plante.

On appelle clones tous les individus nés d'un même organisme et possédant le même patrimoine héréditaire. Un tubercule, un stolon, un rhizome, un bulbille sont donc à l'origine d'un clone.

1- La multiplication par stolons. Dans le cas du fraisier, il y a formation de tiges aériennes rampantes.

2-- La multiplication par tubercules. Pour la pomme de terre, des tiges souterraines renflées par les réserves permettent d'obtenir une nouvelle plante par développement de bourgeons.(figure 46).



Figure 46: la multiplication par stolon (a gauche) et par tubercule (à droite).

3-La multiplication par rhizome :

Ce sont des tiges souterraines pouvant s'enraciner et donner une nouvelle plante.

4- La multiplication par bulbes,

Chez l'ail. Les bulbes secondaires, formés sur le côté du bulbe, sont capables de s'en détacher, puis de s'enraciner pour se développer en une nouvelle plante. 5figure 6).

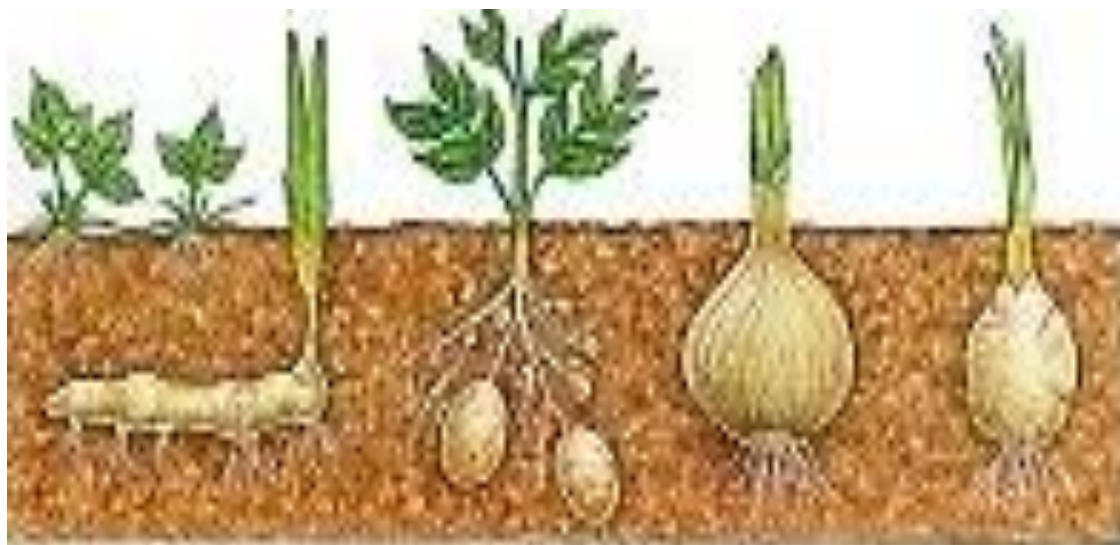


Figure 46: la multiplication par rhizome(a gauche) et par bulbe (à droite).

Chapitre VI:

Techniques recentes de sélection

Chapitre VI: Techniques recentes de sélection

Depuis les débuts de l'agriculture, l'homme exploite consciemment ou inconsciemment la variabilité génétique des plantes en sélectionnant ou en créant des variétés adaptées à ses besoins. Le processus qui permet de générer une amélioration significative des caractéristiques du matériel végétal varie selon les espèces végétales et les caractères agronomiques d'intérêt, mais demande toujours plusieurs années. Actuellement, des techniques de phénotypage et de génotypage à haut-débit sont de plus en plus performantes et sont mises en œuvre afin d'accélérer la création de nouvelles variétés tout en répondant aux critères imposés par la réglementation en vigueur.

La Création des variétés clones est basée sur des techniques modernes de culture cellulaires sont utilisées en biotechnologie et amélioration des plantes. Ce sont des méthodes pour cultiver des plantes ou des cellules sur des milieux nutritifs artificiels. A l'origine, les méthodes étaient destinées à régénérer une plante entière à partir de cellule ou de tissus végétaux, en grand nombre.

VI-1 La culture in-vitro

Les méthodes de culture in vitro comprennent :

- Les micro-bouturages

Les cultures de microbouturages consistent à prélever un fragment de tige comportant un bourgeon, Chez la pomme de terre, , on peut repiquer des fragments de germe comportant un nœud muni d'une petite feuille et d'un bourgeon. La plante issue de la bouture peut être fragmentée à son tour et conduit à d'autres boutures. Un seul bourgeon permet de produire en moins d'un an 2 millions de plantes, toutes identiques à la plante mère (figure 47).

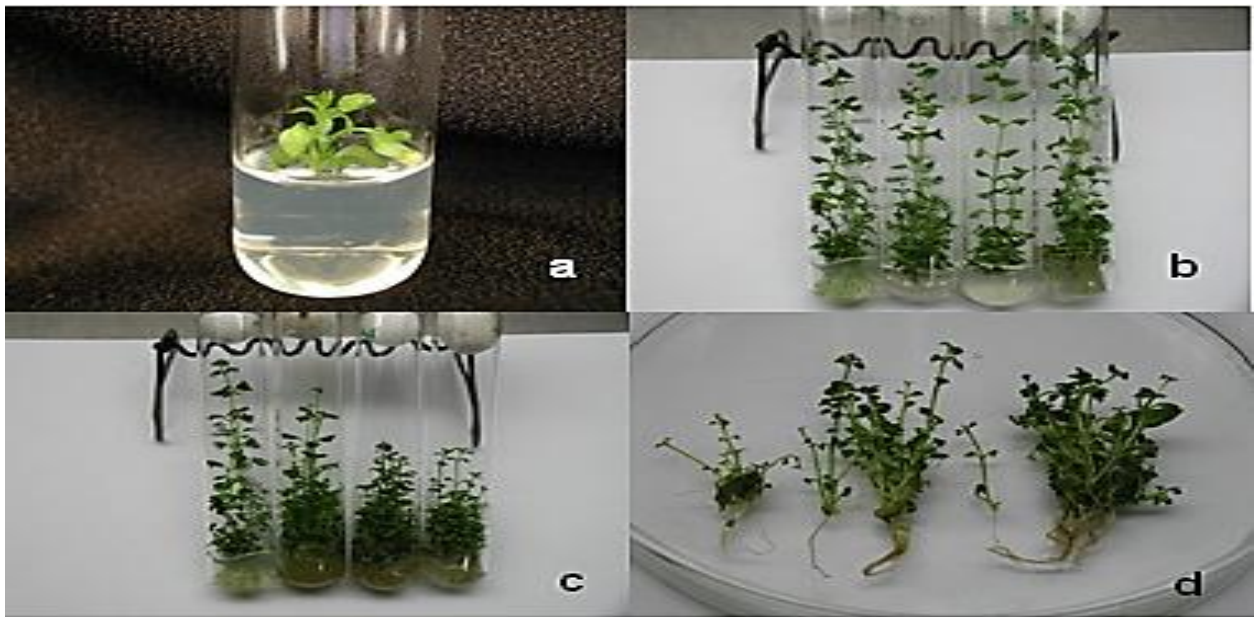


Figure 47: les étapes de la culture micro-boutirage.

-

La culture de méristèmes,

Cette culture consiste à ne cultiver au départ que le méristème apical de la plante à multiplier, l'embryogenèse somatique qui consiste à obtenir à partir de certains tissus ou organes une multiplication de cellules qui reproduisent les phases de l'embryogenèse zygotique. par exemple le cas de 80% des fraises consommées, de la quasi totalité des plantes vertes, des oeilletts, d'une partie des rosiers, des plants souches de luzerne, de carotte (figure 48) ou de betterave.

par exemple le cas de 80% des **fraises consommées**, de la quasi totalité des plantes vertes, des oeilletts, d'une partie des rosiers, des plants souches de luzerne, de carotte ou de betterave



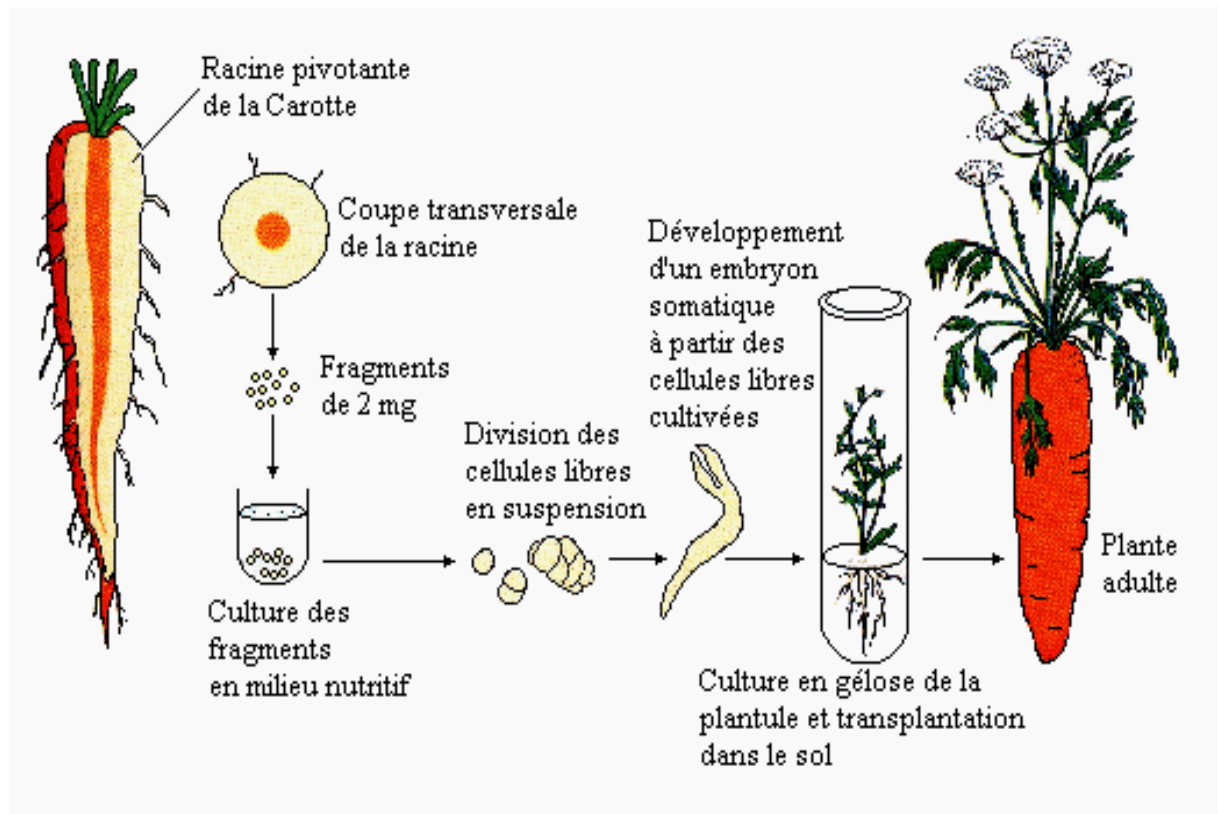


Figure 48: Culture des méristèmes de la carotte.

Tableau 3: les avantages et les inconvénients de la culture invitro.

Avantages	Inconvénients
- Parfaitement homogène et stable	- Organes de multiplication végétative sont difficiles à conserver que des graines
- Facilement reproductible	- Sensible à des dégénérescences de nature parasitaire (virus)
- Performances maximales	- Coefficient de multiplication souvent faible.

VI-2 Sélection par haploïdie

Au lieu de partir de cellules de méristème, on peut partir de cellules sexuelles (donc haploïdes) pour régénérer une plante. C'est l'androgénèse (on part de gamètes mâles) ou la gynogénèse (on part de gamètes femelles).

Un traitement chimique permet de retourner à l'état diploïde qui est l'état fertile. Comme cette transformation est obtenue par doublement du stock de chromosome, la plante résultante est homozygote. On obtient ainsi directement une lignée pure, ce qui représente un gain considérable par rapport aux méthodes de sélection traditionnelles.

VI-3 Le sauvetage d'embryons

Lors de croisements interspécifiques, des barrières naturelles empêchent le développement complet de l'embryon. Pour remédier à cette situation, on pratique après fécondation un prélèvement précoce des embryons pour les mettre en culture sur un milieu artificiel nutritif. Cette technique de culture *in vitro* est appelée sauvetage d'embryons (figure 49) interspécifiques.

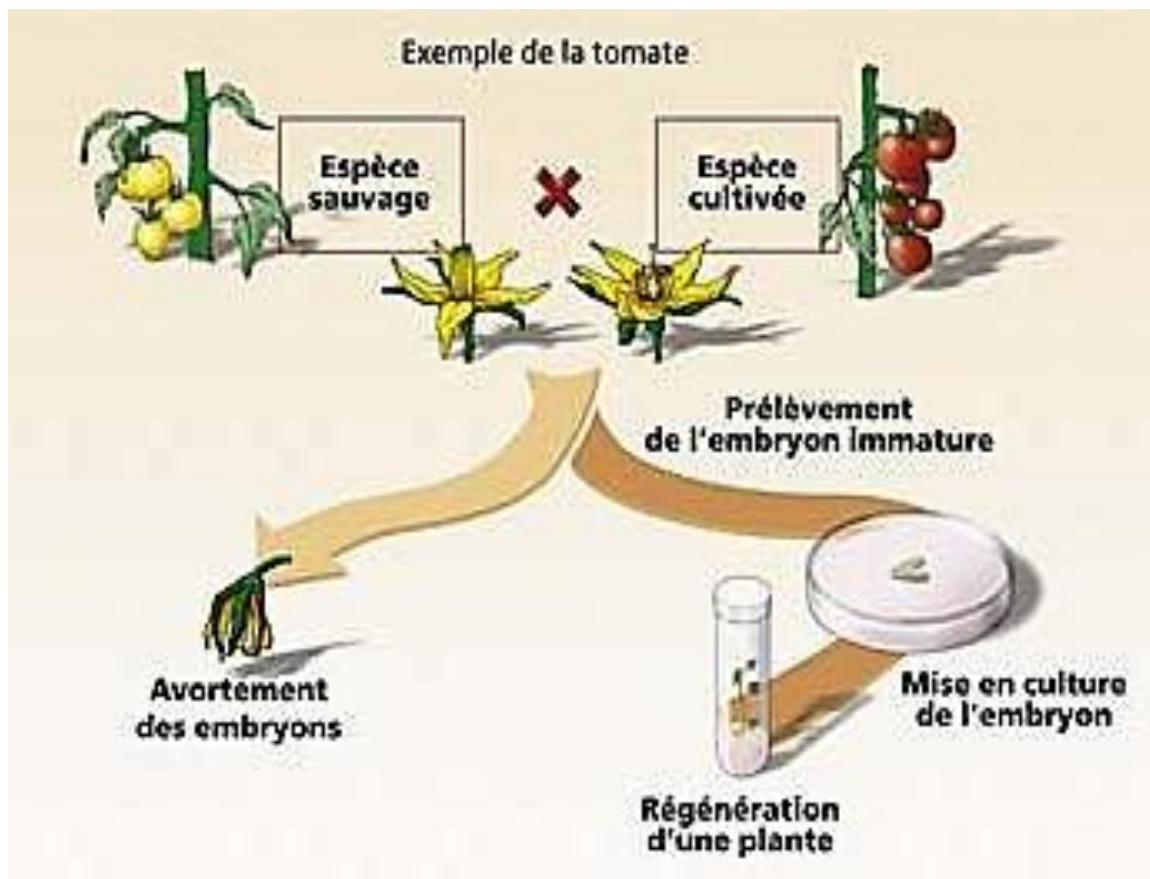


Figure 49 : culture de sauvetage d'embryon chez la tomate.

Il est utilisé par exemple chez la tomate pour introduire dans l'espèce cultivée (*Lycopersicon esculentum*) des gènes de résistance aux maladies présent dans l'espèce sauvage (*Lycopersicon peruvianum*). L'embryon est prélevé avant la phase de maturation de la graine. Il est ensuite transplanté et cultivé sur un milieu artificiel riche en sucre, permettant la régénération d'une plante nouvelle.

L'hybride obtenu est souvent croisé par le parent de l'espèce cultivée (rétrocroisement) et sa descendance est sélectionnée, pour fixer des caractères nouveaux et intéressants, tout en éliminant les caractères indésirables issus de l'espèce sauvage.

VI-4 La mutagenèse

La **mutagenèse**, ou **mutagenèse par la modification du code génétique**, est le processus d'apparition d'une mutation. Il peut être naturel ou artificiel (par exposition de l'ADN à un « agent mutagène »). La **mutagenèse** est aussi une approche utilisée par le génie génétique et la biologie pour comprendre la fonction des gènes ; elle consiste en l'introduction volontaire de mutations par l'action d'agents **mutagènes chimiques** ou **physiques** dans une séquence ADN afin de déduire des informations sur le rôle des gènes, à partir de l'analyse des effets de ces mutations.

Plusieurs techniques de mutagenèse existent.

La première est la **mutagenèse aléatoire**. Elle consiste à exposer des cellules végétales à des agents énergétiques (rayons gamma, rayons X...) ou chimiques afin de les faire muter.

La seconde est la **sélection de plantes mutées** directement au champ ou en exposant des cellules végétales à des agents sélectifs comme un herbicide. Le principe est de repérer dans un champ une plante disposant d'une caractéristique que ses congénères n'ont pas et, après analyse, de détecter et identifier la mutation associée à cette caractéristique.

le mutagène est un agent qui change le génome (l'ADN) d'un organisme et augmente ainsi le nombre de mutations génétiques

-Mutagènes physiques : U.V; radiation ionisante; La chaleur provoque des coupures de l'ADN par hydrolyse,

-Mutagènes chimiques (benzopyrène, Colchicine, bromonaphtalène ,,,

-Radiations mutagènes: Ultraviolet, Rayons X, la radioactivité

A



B



Figure 50: les OGM des deux especes tomate (A) et Chout-fleur (B).

Production des plantes O.G.M

Puisqu'elle permet d'introduire un gène d'origine quelconque dans une plante donnée, la transgénèse peut potentiellement apportée des solutions à des problèmes très variés touchant aussi bien l'agronomie, l'amélioration des qualités alimentaires, la santé, l'industrie ou l'environnement.

Pourtant, les OGM commercialisés jusqu'ici visent un marché plus étroit: l'utilisation des herbicides chez le colza, le maïs et le soja et la lutte contre les insectes chez le coton. Le marché mondial correspondant est très important (les herbicides jouent un rôle important dans la culture du colza, du maïs et du soja; la culture du coton représente un quart de la consommation d'insecticides) et la surface mondiale cultivée en OGM augmente de 12% par an.

Il faut aussi noter la commercialisation récente de légumes OGM aux Etats-Unis et en Chine (papaye, poivron, tomate).

On notera aussi qu'en Mars 2010 la commission européenne à Bruxelles a donné son accord pour la culture d'une pomme de terre OGM en Europe. Il s'agit de la variété AMFLORA développée par BASF et autorisée pour un usage industriel (donc non alimentaire). L'amidon est composé d'amylose et d'amylopectine. S'ils ont tous les deux des vertus nutritionnelles, seule l'amylopectine est utile dans l'industrie. Jusqu'alors, cette séparation de l'amylose et de l'amylopectine était coûteuse. La pomme de terre de BASF, par une modification génétique qui inhibe la synthèse d'amylose, produit de l'amylopectine pure. La Commission européenne souligne donc que cette pomme de terre génétiquement modifiée «contribue à optimiser le processus de production et à économiser des matières premières, de l'énergie, de l'eau et des substances pétrochimiques».

La réussite commerciale des OGM pour les principales plantes de grande culture n'empêche pas les débats. Ceux-ci sont présentés dans la partie débat-discussion. Ils sont plus faciles à comprendre lorsqu'on a en mémoire les contraintes économiques qui pèsent sur l'agriculture (voir la présentation du contexte agricole français) et la pression pour réduire dans les prochaines années l'usage des produits phytosanitaires (voir rapport INRA sur pesticides).

VI.5 Hybridation somatique.

Des hybrides interspécifiques et inter génétiques, ne peuvent pas être produits par les méthodes classiques de sélections (croisements) ont été produits par la fusion de protoplastes. Cependant chez les céréales, l'hybridation somatique n'est pas encore possible à cause de la difficulté de régénérer des plantes à partir de leurs protoplastes. Pour certaines espèces telles que **Datura et Nicotiana**, ce système a bien réussi. On note même la présence d'une vigueur hybride

chez ces espèces. Les biotechnologies apportent de nouvelles réponses à la sélection classique : pour faciliter les croisements interspécifique, pour maîtriser les transferts de gènes, pour créer rapidement des lignées pures.

- Pour faciliter les croisements interspécifiques : lorsque le sélectionneur cherche à réaliser des croisements spécifiques, afin d'augmenter les ressources en caractères favorables, il rencontre parfois une impossibilité : absence de fécondation, avortement de l'embryon ou obtention d'un descendant stérile. Les techniques de sauvetage d'embryon, de fusion de protoplastes et de transgénése permettent notamment de faire face à ces handicaps.
- Maîtriser l'apport de nouveaux caractères : lorsque le sélectionneur fait un croisement, il brasse un très grand nombre de caractères, aussi bien ceux qu'il désire introduire dans la nouvelle variété, que des caractères indésirables. Ainsi il doit ensuite procéder à des longues années de sélection pour éliminer ces derniers. Face à ce problème, la connaissance du génome, grâce à la réalisation de cartes génétiques par l'utilisation de marqueurs moléculaires, et la transgénése permettent de cibler et d'introduire un gène d'intérêt dans un fond génétique.
- Diminuer la durée de création : la sélection est un processus de longue haleine. Les techniques d'haplo diploïdisation et de culture d'embryons permettent de raccourcir la durée des cycles de sélection en diminuant le temps nécessaire à la fixation et à la multiplication des génotypes intéressants.

VI.6 Sélection assistée par les marqueurs moléculaires

L'objectif de l'amélioration des plantes est de **créer de nouvelles variétés** combinant un certain nombre de caractères définis par le sélectionneur pour **répondre aux besoins des agriculteurs et des consommateurs**.

Dans les années 1950, le sélectionneur ne faisait appel qu'aux outils de la sélection « **phénotypique** » avec croisement, autofécondation et expérimentation au champ. Aujourd'hui, les **marqueurs moléculaires** et les études de génomique apportant une connaissance de plus en plus précise des gènes qui contrôlent des caractères physiologiques, la sélection se fait majoritairement sur le génotype. On parle alors de « **Sélection Assistée par Marqueurs** » (**SAM**).

QU'EST-CE QUE LA SAM ?

La SAM est basée sur l'utilisation de marqueurs moléculaires, de petits segments d'ADN situés près d'un gène d'intérêt (résistance à une maladie, par exemple) dans l'ADN de la plante. Les marqueurs sélectionnés et utilisés au laboratoire permettent de détecter précisément la présence ou l'absence du (ou des) gène(s) d'intérêt recherché(s) dans les plants en cours de sélection.

La SAM présente également un intérêt important dans les programmes d'**introgression** d'un gène d'intérêt dans une variété élite par **retrocroisements** (ou back-cross, **voir chapitre III**). Les marqueurs sont dans ce cas utilisés pour suivre l'introgression des allèles favorables au gène d'intérêt et accélérer le retour au fonds génétique élite souhaité (en utilisant des marqueurs moléculaires neutres répartis sur tout le génome).

QUELS SONT LES AVANTAGES DE LA SAM ?

La SAM permet de trier rapidement un grand nombre de plantes à un stade précoce du processus de sélection afin de recommencer rapidement un nouveau **cycle de sélection (Figure 2)**. Cette méthodologie de sélection permet de cumuler le plus vite possible le maximum de gènes favorables dans un même génotype et ainsi de réduire considérablement le temps nécessaire à l'introduction de nouvelles variétés. Plusieurs années de travail de sélection peuvent ainsi être économisées pour chaque nouvelle variété produite.



Figure 51: La S.A.M permet le trie d'un grand nombre de plantes en selection à un stade de developpement très précoce.

En comparaison des méthodes de sélection traditionnelles, la SAM s'avère être :

- Plus **rapide** (quelques jours d'analyses au laboratoire suffisent pour établir un diagnostic de la présence ou de l'absence des gènes d'intérêt dans les plants en cours de sélection) ;
- Plus **précise** (détection fiable de la présence ou de l'absence du gène recherché) ;
- **Non destructive** car l'analyse des plants est réalisée sur une très faible quantité de matériel végétal (1 cm² de feuille, à titre d'exemple, Figure 52).
- **Non influencée par des facteurs environnementaux.**



Figure 52:prelevement d'une très faible quantité de materiel végétal pour la réalisation des S.A.M au laboratoire.

La SAM présente cependant quelques **limites** :

- Elle n'est **pas compétitive en termes de coût et de temps** par rapport aux méthodes de sélection traditionnelles, **lorsque le phénotype peut être déterminé facilement** (hauteurs des plantes, précocité, résistance à certaines maladies dont l'observation est facile...);
- Elle est souvent **inefficace** pour la sélection de **caractères agronomiques à déterminisme génétique complexe** (comme le rendement, par exemple), gouvernés par un grand nombre de gènes ou de QTL (Quantitative Trait Loci) qui interagissent et dont la plupart sont encore inconnus.

Chapitre VI :

Exercices d'application (TD)

TD1

Exercice 1

En se basant sur des connaissances en génétique, expliquez les cas suivants :

- a-** Pourquoi le sélectionneur cherchant des individus à caractères intéressants lors des croisements ?
- b-** Comment doit-il faire pour créer la variabilité génétique dans sa population ?
- c-** Comment le sélectionneur doit procéder pour obtenir des lignées pures à partir des hybrides produits (par schéma)?

Exercice 2:

A propos de la création variétale chez les allogames, les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Expliquez

- a.** Les autofécondations répétées chez une plante allogame sont responsables du phénomène d'hétérosis.
- b.** La vigueur hybride est particulièrement importante chez les F2.
- c.** L'hétérosis est importante lorsque les lignées parentales sont éloignées d'un point de vue origine.

Exercice 3:

La diversité génétique est une étape importante pour la sélection et l'amélioration des plantes.

- a-** Quelle est sa nature ? Quelles sont ces différents types ?
- b-** En quoi la diversité génétique d'une espèce agronomique est-elle utile à son amélioration ?
- c-** Comment conserve-t-on cette diversité? Citer des sources de diversité utilisées en sélection (expliquez par un exemple de votre choix).

Exercice 4

- a-** Comment le sélectionneur doit procéder pour obtenir des lignées pures à partir des hybrides produits (interprétez par un schéma, en calculant les pourcentages d'homozygotes et des hétérozygotes des générations F1 à F7)?
- b-** comment le sélectionneur doit procéder pour améliorer une espèce autogame ?

TD2

Exercice 1

La couleur des pois peut être grise ou blanche. On croise entre elles des plantes de génotype inconnu.

Croisement	Parents	F1	
		Gris	Blanc
1	(gris) x (blanc)	82	78
2	(gris) x (gris)	118	39
3	(blanc) x (blanc)	0	50
4	(gris) x (blanc)	74	0
5	(gris) x (gris)	90	0

(a) Précisez le déterminisme de la couleur du pois.

(b) Quels sont les génotypes des parents dans les croisements de 1 à 5?

Exercice2

Chez le soja, la couleur des cotylédons d'individus de génotype CGCG est vert foncé, celle des cotylédons d'individus CGCY est vert clair et celle des cotylédons d'individus CYCY est jaune. Les plantules des individus CYCY, presque dépourvues de chloroplastes, sont incapables de se développer. On croise des plantes à feuilles vert foncé avec des plantes à feuilles vert clair. Une F2 est obtenue par croisement aléatoire des individus F1 entre eux. De quels génotypes et phénotypes seront les plantes adultes F2, et en quelles proportions ?

Exercice3

Une plante est porteuse des quatre paires de chromosomes homologues AA, BB, CC et DD. Elle se reproduit par autofécondation. Quelle sera la constitution chromosomique:

(a) des grains de pollen ?

(b) des ovules (ovocytes de 2nd ordre)?

(c) de l'embryon ?

(d) de l'albumen ?

(e) du péricarpe ?

TD3

Exercice 1:

La majorité des espèces supérieures sont des polyploïdes, notamment les espèces pérennes et les espèces domestiquées (sélectionnées).

a- C'est quoi la polyploïdie ? Citez ces différents types, en expliquant avec des exemples.

b- Quelle est l'importance de ce phénomène dans l'amélioration des plantes ?

c- Si, on croise une espèce tétraploïde (blé dur, $2n=4x=28$ chromosomes) avec une espèce diploïde (seigle, $2n=2x=14$ chromosomes), quelle sera le nombre de chromosomes de la génération F1 et son niveau de ploïdie? Cet hybride (F1) est-il stérile ou fertile ? Expliquez par un croisement.

Exercice 2:

Soit $2n=14$, combien de chromosomes trouve-t-on chez : (a) plante monosomique ? (b) plante tetrasomique ? (c) plante double trisomique ? (d) plante triploïde ?

Exercice 3:

On croise le blé tendre ($12=6x=42$, parent femelle) avec le seigle ($2n=2x=14$, parent male). La F1 obtenue est un hybride interspécifique (triticale) avec $2n=8x=56$ chromosomes.

-Déterminer le nombre de base et calculez le nombre de gamète pour chaque parent .

-Représentez le croisement et donner le niveau de ploïdie de chaque espèce

Exercice 4:

Quels sont les gamètes formés par un individu porteur des deux paires de chromosomes homologues

Aa et Bb :

(a) Aa, AA, aa, Bb, BB et bb?

(b) Aa et Bb?

(c) A, a, B et b?

(d) AB, Ab, aB et ab?

TD4

Exercice 1:

La sélection pour la densité des stomates des feuilles du blé chez les générations F2 et F3 donne les résultats suivants:

population	F2 (sélection différentielle)		F3 (Gain de sélection)	
	Moyenne forte faible	moyenne	Moyenne forte faible	moyenne
A	142	69	112	84
B	130	79	105	105

-Calculez l'héritabilité dans chaque population (interprétez les résultats).

Exercice 2:

On mesure le poids de grain(g) par plante chez le maïs, l'écart-type phénotypique dans une grande population est de 15. L'écart-type phénotypique dans une lignée pure (consanguine) est de 12.

a-calculez l'héritabilité dans la lignée pure.

b-calculer l'héritabilité dans la grande population.

Exercice 3:

Chez le pois, la position et la couleur des fleurs dépendent respectivement des paires d'allèles (T-t) et (C-c). On croise des plantes à fleurs colorées et axillaires avec des plantes à fleurs incolores et apicales. Toutes les plantes F1 sont à fleurs colorées et axillaires. La F2 obtenue par croisement des plantes F1 entre elles est constituée de 91 plantes à fleurs colorées et axillaires, 32 à fleurs colorées et apicales, 29 à fleurs incolores et axillaires et 8 à fleurs incolores et apicales.

(a) Quelles caractéristiques sont dues aux allèles dominants T et C ?

(b) Les gènes ségrégent-ils indépendamment ? Pourquoi ? Soumettez votre hypothèse à un test khi-carré.

(c) Quels sont les génotypes des parents et des individus F1 ?

References

- ANDRE GALLAIS 2018**. Histoire de la génétique et de l'amélioration des plantes. Chapitre d'Ouvrage, Éditions Quæ RD 10 78026 Versailles Cedex www.quae.com, p 20
- Comai L., 2005 **The advantages and disadvantages of being polyploid**. Nat. Rev. Genet. (11): 836–846.
- BA.PIERCE 2012**. L'essentiel de la génétique. Edition De Boeck. Pp 453
- C. LEROUX 1, G. TOSSER-KLOPP 2002**. Notions de base de génétique La fonction du gène : les grandes étapes de l'utilisation de l'information génétique. *INRA Prod. Anim.*, 2000, numéro hors série « *Génétique moléculaire : principes et application aux populations animales* », 21-28
- DOUNIA HAMMOUDA 2014**. Genetique et dynamique des populations : Cours et exercices d'application. Document, P71. www.edu.dz.
- DEMARLY Y., 1977** : Génétique et amélioration des plantes. Ouvrage. Masson Paris. New York. Barcelone Milan. 287.
- G.C. DOUGLAS, W. A. KELLER, AND G. SETTERFIELD 1981**. Somatic hybridization between *Nicotiana rustica* and *N. tabacum*. I. Isolation and culture of protoplasts and regeneration of plants from cell cultures of wild-type and chlorophyll-deficient strains Canadian Journal of Botany vol 59, N 2.
- MAX RIVES 1986**. Chapitre Amélioration des plantes, p 122-131.
- NEIL C. and al, 2006** : *Biologie*. Édition Boeck, p. 516. -William D., 1978. Génétique, Cours et Problèmes. Série Chum.
- P. RAICU P. 1976**. Les complexes polyploïdes chez les végétaux, Bulletin de la Société Botanique de France, 123:5-6, 249-260, DOI: 10.1080/00378941.1976.10835693
- SCNAT 2020**.. La sélection végétale – du croisement classique à l'édition génomique.

academies-suisse.ch, Vol. 15, No. 3, 1-5.

-XING-GUO XIAO, GILBERT CHARLES, MICHEL BRANCHARD 1995. Culture in vitro et amélioration des plantes. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris © , pp. 177-183

