

Méthodologie de l'amélioration des végétaux

La germination

1-Définition de la germination :

La germination correspond à l'étape par laquelle une semence en vie ralentie "se réveille" et donne naissance à une plantule. Ce passage met en jeu des mécanismes physiologiques complexes qui sont assez bien identifiés aujourd'hui.

En 1957, *Evenari* propose la définition suivante : la germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule. Cette définition, adoptée par les physiologistes, est validée par des mesures d'imbibition et d'activité respiratoire effectuées sur des semences en cours de germination. Il est ainsi démontré que la germination comprend trois phases successives : la phase d'imbibition, la phase de germination stricto sensu et la phase de croissance. On retrouve ces trois mêmes étapes pour l'activité respiratoire.

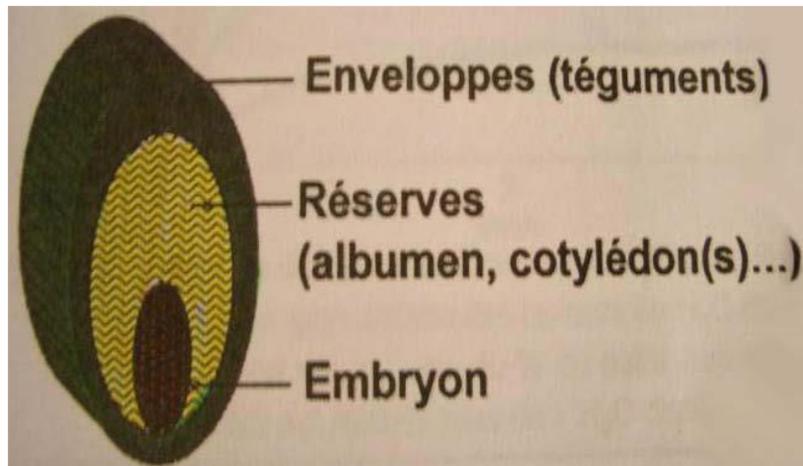
On peut donner différentes définitions de la germination :

- **Physiologiquement** : il s'agit d'un stade d'hétérotrophie qui se termine à la formation des racines et des feuilles. En effet la plante est un organe autotrophe doué de photosynthèse.
- **Botaniquement** : la germination s'arrête quand la radicule a percé les téguments de la graine.
- **Agronomiquement** : la germination s'arrête à la levée des semis, c'est-à-dire l'apparition des premières feuilles à la surface du sol.

-Les différents mécanismes physiologiques qui entrent en jeu dans le processus de germination, c'est la phase de germination stricto sensu qui est la plus importante car elle conditionne la croissance ultérieure. Lors des tests de germination, il est néanmoins difficile de savoir à quel moment cette phase est terminée. C'est pourquoi la percée des enveloppes par la radicule ou l'allongement de celle-ci sont couramment utilisés pour déterminer que la semence a germé (Côme, 1982). Jordan et Haferkamp (1989) considèrent, par exemple, que la semence a germé lorsque la radicule fait au moins 1 mm de long.

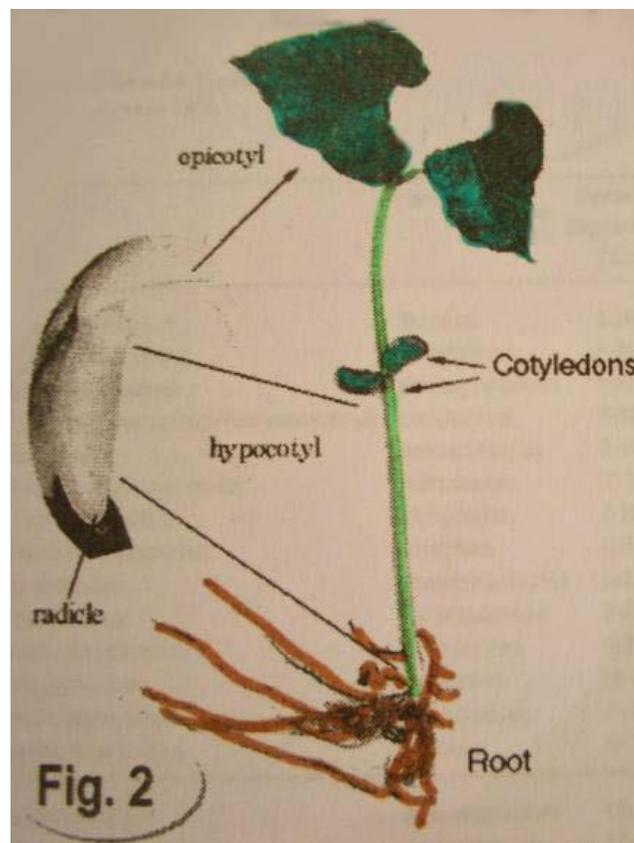
2. Données Générales:

Les graines ensemencées sont toutes constituées de la même façon : un embryon, des tissus de réserves enfermés dans des enveloppes protectrices mais, il existe des différences morphologiques.



-Quelques définitions

La graine est inactive du point de vue métabolique et, la germination correspond au passage d'un état de vie ralentie à un état de vie active.



Sur l'embryon on distingue trois parties :

- La radicule : qui donnera la racine principale et les racines secondaires
- L'hypocotyle : qui se trouve sous le cotylédon
- L'épicotyle : qui constitue la tige feuillée au dessus du cotylédon

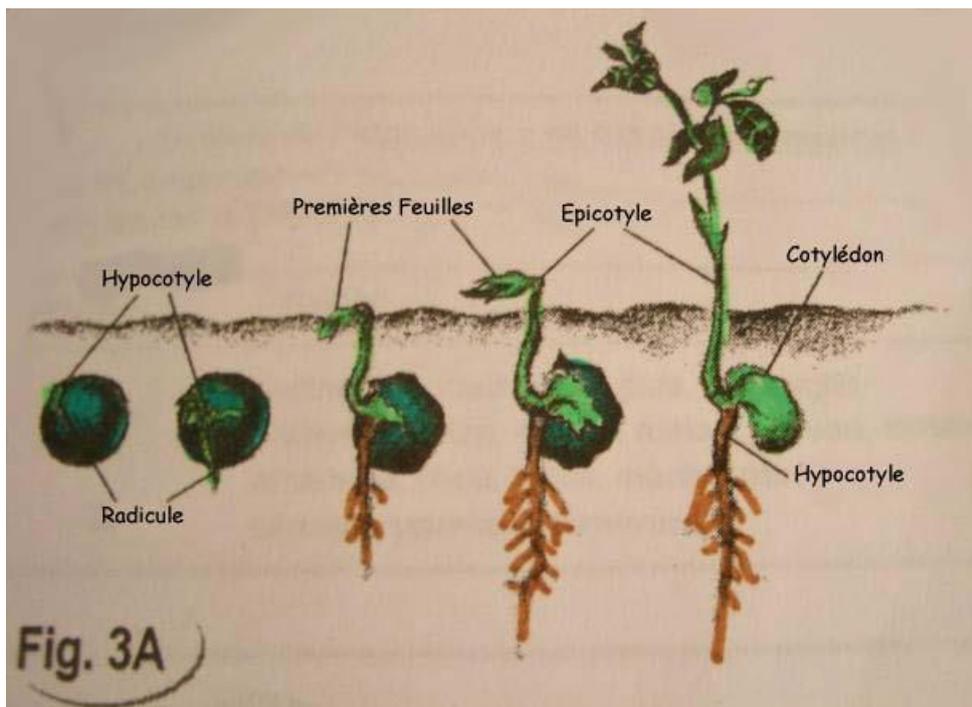
*Il faut savoir qu'en germination, la future plante a besoin qu'on lui apporte les nutriments extérieurs pour grandir : les tissus de réserve.

Les deux types de germinations:

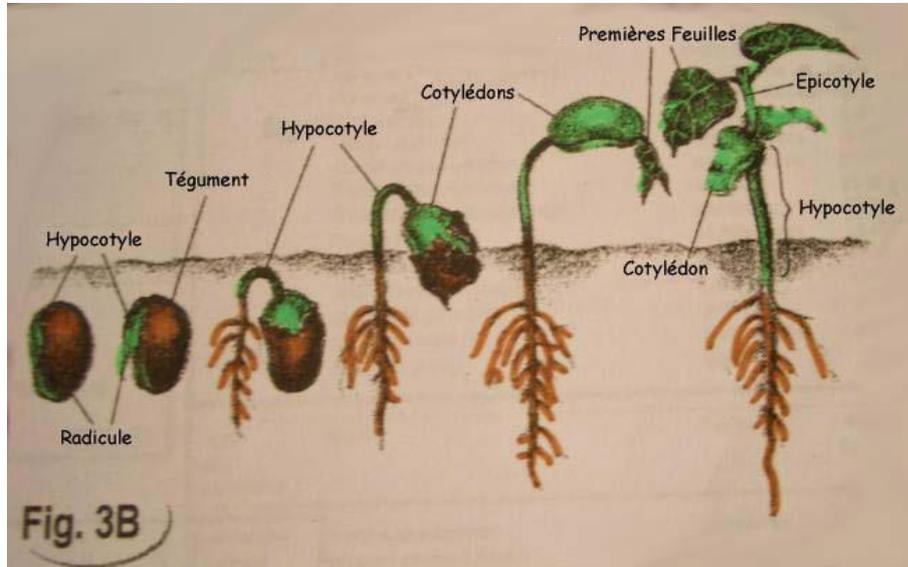
3- Types de germination:

Il existe deux types de germination : Hypogée et épigée.

Lors de la germination hypogée le cotylédon reste dans le sol (exemple des pois) .



tandis que lors de la germination épigée le cotylédon sort du sol (exemple des haricots).



Les cotylédons ont deux rôles successifs :

- Tissu nutritif ou de réserve : la future plantule utilise ces réserves pour percer les téguments.
- Tissu assimilateur : enrichissement en chlorophylle pour la photosynthèse et, on parle de feuilles cotylédonaires.

3-Les Conditions de la Germination

La germination dépend de plusieurs facteurs de deux types :

- Les conditions externes qui dépendent de paramètres environnementaux telle que l'eau, la température, l'oxygène et la lumière.
- Les conditions internes qui dépendent de la constitution de la graine telle que la dormance et la photosensibilité de la graine.

1-Influence des facteurs externes

L'eau liquide :

La quantité d'eau nécessaire est de 50% à 250% du poids sec de la graine et permet la réhydratation des tissus.

L'eau va imbiber la graine, pénétrer les téguments de façon passive :

- Entrée par capillarité

- Imbibition des téguments (Tissu ou ensemble de tissus recouvrant et enveloppant un organisme vivant gaine).

- Pénétration dans les tissus

L'absorption de l'eau varie en fonction de :

- La nature des téguments : poreux, cireux...

- La nature du sol : argile, sable, tourbe...

- La température : inférieure ou supérieure à 0°C

Les graines sont capables de récupérer de l'eau dans des sols plus ou moins secs grâce à une forte succion.

La forte succion est une des caractéristiques des graines. Ainsi elles peuvent germer dans des sols présentant de faibles teneurs en eau.

Par contre si on met trop d'eau elles sont asphyxiées par l'absence d'oxygène. Seules les plantes marécageuses tel que le riz y sont adaptées.

Historique :

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

Ils sélectionnent et ressèment les plantes intéressantes à cultiver. Ils favorisent ainsi celles qui sont les plus résistantes, les plus productives, les plus nutritives, et qui se transforment et se conservent le mieux. Ils recherchent à la fois des plantes pour se nourrir, pour se soigner et pour se vêtir.

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

1-Définition de l'amélioration des plantes:

L'amélioration des plantes peut être définie comme la modification volontaire des plantes par l'homme pour mieux les adapter à ses besoins.

D'un point de vue génétique, elle correspond à l'ensemble des opérations qui permettent de passer d'un groupe d'individus n'ayant pas certaines caractéristiques au niveau recherché à un nouveau groupe, plus reproductible, apportant un progrès.

L'amélioration peut porter soit sur les vieilles variétés locales soit sur les races étrangères; l'introduction de celles-ci, sans constituer une méthode proprement dite d'amélioration, a provoqué néanmoins, dans certains pays, une augmentation importante des rendements.

La biodiversité des plantes est **un patrimoine clef ou la base** pour la recherche végétale. Les sélectionneurs ne peuvent pas prendre le risque de la mettre en péril. Ils ont donc toujours préservé les ressources génétiques, base de leur travail d'amélioration des plantes. Qu'il s'agisse d'anciennes populations ou de variétés plus récentes, les semenciers privés et publics ont ainsi créé des collections de ces ressources qu'ils ont partagées en réseau. Ils ont constitué des collections françaises accessibles à tous gratuitement, au niveau national et international. Par ailleurs, les sélectionneurs enrichissent chaque année la biodiversité disponible pour l'agriculture en créant de nouvelles variétés. Quant aux anciennes variétés qui ne sont plus utilisées par les agriculteurs ou les jardiniers, elles sont conservées dans les collections.

Elles peuvent servir de base aux sélectionneurs ou même revenir dans nos assiettes si elles sont à nouveau demandées. Des sélectionneurs témoignent de l'importance d'une conservation active et dynamique de la biodiversité végétale cultivée pour la création de nouvelles variétés.

2-Objectif de l'amélioration des plantes:

L'objectif finalisé de l'amélioration est de développer des variétés performantes et adaptées à des systèmes de production et de commercialisation innovants. L'adaptation à des systèmes agroécologiques et bas intrants définissent des critères de résistance aux bio-agresseurs et d'adaptation à des environnements contraints (tolérance au déficit hydrique, aux stress salins et nutritionnels).

L'amélioration de la productivité et des qualités nutritionnelle, organoleptique et technologique des produits sont également des objectifs majeurs pour assurer la durabilité économique des productions.

Une amélioration des rendements est indispensable pour faire face aux besoins croissants de l'humanité. Cette amélioration peut être très rapide pour des espèces récemment domestiquées (palmier à huile, hévéa). Les progrès restent importants pour les céréales traditionnelles et d'autres plantes cultivées depuis des millénaires. Il existe cependant une limite : c'est la quantité de matière organique qui peut être produite dans une région donnée en fonction de la température et de l'insolation.

Les recherches s'articulent autour des différentes phases du processus complet d'amélioration, depuis la gestion des ressources génétiques jusqu'à la sélection de matériel innovant.

2-Pourquoi créer de nouvelles variétés ?

Les variétés ne sont jamais créées au hasard, mais pour répondre à des besoins précis.

2- 1 - Adapter les plantes au milieu

La plupart des plantes cultivées en France *exemple* , comme la tomate, la pomme de terre, le maïs, ou le tournesol, sont originaires de pays lointains, dont les conditions naturelles (climat et sol) sont très différentes. La sélection permet d'acclimater ces plantes à de nouvelles conditions, et c'est grâce à ce long travail que l'on peut cultiver ces espèces en France.

Par ailleurs, la sélection a permis de créer des variétés adaptées à des milieux ou à des climats particuliers. Ainsi, **des variétés mieux adaptées au froid ou à la sécheresse peuvent gagner de nouvelles zones de culture.**

2-2 - Développer la productivité

Le progrès génétique, en rendant les plantes plus fertiles et plus résistantes, a permis d'augmenter les rendements : pour le blé a plus que triplé en quarante ans. On estime que cet essor est dû pour moitié au progrès génétique et pour moitié à l'évolution des pratiques culturales (traitements, préparation des sols ...).

2-3 - Préserver l'environnement

Le respect de l'environnement fait partie du métier des semenciers : ils élaborent des variétés plus résistantes aux maladies pour limiter l'utilisation de produits phytosanitaires, des variétés plus économes en engrais ou en eau. Ainsi en blé tendre, des variétés ont besoin de moins d'azote que d'autres pour produire des quantités identiques de grains.

2-4 - Optimiser la transformation

Une grande partie des plantes cultivées est transformée avant utilisation : ainsi crée-t-on des variétés de tournesol plus faciles à décortiquer, du blé pour une meilleure panification ... Par ailleurs les produits récoltés doivent être adaptés au transport et à la conservation.

2-5 - Améliorer les qualités nutritionnelles et diététiques des aliments

Lorsque le besoin apparaît, les qualités nutritionnelles des espèces végétales cultivées peuvent être améliorées par la sélection. Ainsi, à la fin des années 1960, les sélectionneurs sont parvenus à modifier la composition en acides gras de la graine de colza. Son huile, riche en acides gras insaturés, est désormais l'une des plus diététiques du monde.

Les poules ou les vaches nourries avec des variétés de graines de lin riches en Oméga 3 produisent des œufs ou du lait à haute teneur en cet acide gras. La consommation d'Oméga 3 réduit les risques de maladies cardio-vasculaires.

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

3.1. Diversité génétique: Dans certains cas, l'objectif est la création de variétés entièrement nouvelles à partir de génotypes de provenances diverses. Le plus souvent, le point de départ est une variété déjà bien acceptée dont on veut améliorer certains caractères en faisant appel à des génotypes introduits d'ailleurs. Dans les deux cas, la base génétique disponible est souvent déficiente. Beaucoup d'espèces domestiquées à une époque récente proviennent de l'introduction de petits échantillons et leur potentiel n'a pas eu le temps de s'enrichir par mutation : les cultures de pomme de terre, de colza, de caféier arabica, d'hévéa, de betterave sucrière ont été développées à partir d'un nombre très limité de plantes.

Les espèces cultivées anciennes, comme les céréales, sont représentées par de nombreux génotypes souvent très divers. Cependant, lorsqu'une variété de bonne qualité est disponible, elle est régulièrement utilisée dans beaucoup de programmes d'amélioration, de telle sorte que la plupart des variétés cultivées dans une même région sont plus ou moins étroitement apparentées. Lors de nouveaux croisements effectués entre elles, le nombre de caractères susceptibles de se recombinaison est donc limité et les véritables innovations sont rares. Pour élargir la diversité génétique, on peut rechercher dans la nature des formes spontanées proches des variétés domestiques ou réaliser des hybridations avec des espèces voisines.

3-2. Conservation de la diversité : Les populations sauvages et les variétés traditionnelles nécessaires aux progrès futurs de l'amélioration tendent à se raréfier, d'une part, à cause de la disparition des habitats naturels et, d'autre part, en raison de l'élimination rapide des variétés locales par des variétés modernes à haut rendement. La conservation de ces génotypes sur place, dans des réserves naturelles, est pratiquement exclue, mais de nombreux organismes internationaux, nationaux et privés, ont créé des banques de gènes qui peuvent compter plusieurs dizaines de milliers d'accessions d'une même espèce : on y trouve le plus grand nombre possible de variétés améliorées, des mutants, les races anciennes et des formes spontanées.

Beaucoup d'espèces pérennes (durable) sont maintenues en culture (arbres et arbustes), les annuelles autogames (céréales, légumineuses) sont semées périodiquement en petites parcelles et les allogames (maïs) en parcelles isolées plus vastes. Pour réduire la fréquence des cultures et les risques de mélanges, les semences sèches et propres sont souvent conservées en atmosphère amorphe à basse température. Pour d'autres plantes (pomme de terre), on expérimente la conservation prolongée de méristèmes ou de tissus dans l'azote liquide (-196 °C).

3-3. Sélection et hybridation: L'améliorateur exerce, sur les populations hétérogènes, des pressions sélectives plus ou moins fortes, par élimination des individus qui s'écartent du type recherché ou choix de quelques plantes qui produiront la génération suivante. Lorsqu'un caractère est très héritable, la sélection est généralement facile. Pour les autres caractères, l'observation d'un individu ne suffit pas, il faut contrôler sa valeur génotypique après multiplication clonale ou semis de sa descendance.

3-4. Les modes de reproduction : L'application des principes d'amélioration dépend beaucoup du mode de reproduction de l'espèce. Chez les autogames, les populations sont composées d'individus plus ou moins homozygotes et le premier objectif de l'amélioration est l'isolement de lignées supérieures. Les allogames sont hétérogènes : le sélectionneur cherche à améliorer ces populations en maintenant une diversité importante (variétés synthétiques) ou privilégie l'uniformité par la création de variétés hybrides. Les plantes propagées par voie végétative sont des allogames où des génotypes sélectionnés sont cultivés sous forme de clones. La liaison entre les différentes méthodes d'amélioration et le mode de reproduction n'est pas absolue, en premier lieu parce que la frontière entre autogames et allogames n'est pas toujours nette. La plupart des allogames peuvent être autofécondées et toutes les autogames peuvent être croisées. Les taux d'allogamie sont variables, ils dépendent de l'espèce, du génotype et de l'environnement. Lorsqu'elles sont avantageuses, les variétés hybrides sont utilisées aussi chez les plantes autogames. Les lignées obtenues par autofécondation ou consanguinité chez le maïs et d'autres espèces allogames se comportent à peu près comme des lignées autogames et peuvent être traitées comme telles.

4. SÉLECTION DE LIGNÉES

4.1. Principes : Les variétés anciennes de céréales (landraces) étaient hétérogènes, à la suite de fréquents mélanges de semences, de mutations, de recombinaisons après croisements spontanés. L'agriculture moderne a conduit à l'uniformisation et à la stabilité des variétés.

En théorie, une variété moderne est une lignée pure, produit de la multiplication de plantes homozygotes identiques entre elles. L'uniformité et la stabilité des variétés répondent à une nécessité pour la culture, la récolte, le conditionnement et le commerce. Elles représentent un avantage si la combinaison génétique a été bien choisie ; les dispositions légales concernant la commercialisation et la protection des variétés supposent un contrôle de l'uniformité. Cependant, le manque de plasticité des lignées pures est un défaut lorsque les conditions climatiques, l'incidence des maladies et parasites diffèrent au cours des saisons ou selon les régions. Dans de nombreux cas, il sera utile de rechercher un compromis entre l'uniformité des variétés pour leurs caractères agronomiques et commerciaux d'une part, un polymorphisme génétique suffisant pour leur adaptation d'autre part.

4.2. Sélection de lignées : Une simple sélection massale a permis aux agriculteurs eux-mêmes de transformer peu à peu des plantes spontanées en variétés cultivées, puis d'obtenir des lignées homogènes à partir de populations disparates. Elle peut consister en une simple élimination des individus indésirables (hors types). Pour aboutir rapidement à une variété stable, on peut aussi produire la semence pour la génération suivante à partir d'une ou de quelques plantes choisies dans une population hétérogène. La plupart des plantes étant homozygotes pour la majorité de leurs gènes, la descendance d'un individu représente une lignée pure. Si les caractères sélectionnés sont très héréditaires et facilement identifiables (couleur des fleurs, forme du fruit), la sélection massale est efficace, aboutissant, dès la première étape, à une lignée stable. Pour d'autres caractères fortement influencés par l'environnement, comme le rendement, elle est par contre peu efficace. Après un premier choix d'individus dans la population, leur descendance doit être observée de façon plus précise. Les semences récoltées sur les plantes choisies sont semées en petites parcelles, dans des conditions uniformes, où le rendement, mais aussi d'autres caractères agronomiques importants sont comparés. Après cette seconde sélection, les meilleures lignées subissent de nouveaux tests, avec répétitions et essais multiloaux (figure 13.3). La sélection de lignées est comparable à la sélection clonale.

4.3. Création variétale Les méthodes traditionnelles d'amélioration ont deux objectifs : d'une part, sélectionner de nouvelles combinaisons de gènes dans une population dérivée d'un croisement et, d'autre part, rétablir l'homozygotie, au moins pour les caractères agronomiques visibles. Parmi les méthodes disponibles, certaines favorisent surtout la sélection, d'autres privilégient plutôt la stabilisation des descendance.

a-Qu'est-ce que la sélection et la création variétales ?

La sélection variétale existe depuis le tout début de l'agriculture. En effet, depuis toujours, l'homme sélectionne les plantes selon des critères qui lui plaisent, et croise les meilleures espèces entre elles :

- Ainsi, certains caractères de la plante, recherchés par l'agriculteur, se sont transmis de génération en génération jusqu'à devenir largement majoritaires.
- Par exemple, chez le maïs, l'homme a toujours choisit de conserver les épis qui possédaient les plus gros grains, afin de les replanter pour les multiplier.

Cette sélection a aboutit à la création de nombreuses espèces améliorées et participe donc à la diversité variétale. La sélection variétale était à la base très empirique, elle est maintenant très orientée et contrôlée.

b-Objectifs de la création variétale

L'objectif de la création variétale est bien sûr l'amélioration des variétés existantes. On cherche à **réunir plusieurs critères recherchés dans une seule variété**. Ces critères peuvent être :

- une meilleure productivité ;
- une plus grande résistance aux maladies ;
- des fruits et des fleurs de plus gros calibre ;
- des fruits plus sucrés ;
- des fleurs odorantes...

c-Création et sélection variétale : hybride F1

On trouve souvent l'expression « hybride F1 » sur les étiquettes de nos plantes potagères ou du verger (jardin) . L'hybride F1 correspond à la **première génération d'un croisement entre deux variétés différentes**.

d-Quelles limites à la sélection variétale ?

La sélection variétale est à l'origine de grands progrès en agriculture. Cependant, à force de sélectionner les caractères les plus intéressants pour nos cultures, la diversité génétique s'est réduite aux quelques variétés que nous cultivons.

Hors, l'environnement évolue et certaines de ces variétés peuvent devenir inadaptées au climat, ou sensibles aux nouvelles maladies.

Il est donc important de conserver des espèces à première vue peu intéressantes, mais qui pourraient être porteuses de caractères qui se révéleront intéressants dans le futur.

5-Amélioration des lignées existantes:

5-1-Rétrocroisement

Un caractère intéressant, tel que la résistance aux maladies, la tolérance au stress, la stérilité, l'amélioration de critères de qualité, peut être présent dans une plante mais pas dans les lignées élites à la base des variétés commerciales. Le sélectionneur va chercher à créer une lignée identique à la lignée élite, mais possédant en plus ce caractère. Pour obtenir ce résultat, le sélectionneur procède par rétrocroisement, (en anglais *back-cross*).

Pour cela, il réalise une série d'hybridations entre la lignée receveuse ou élite, et la lignée donneuse du caractère. Les descendants sont ensuite croisés pendant plusieurs générations par la lignée receveuse ou récurrente. Ceci permet d'augmenter la part de la lignée élite dans le fonds génétique des descendants, tout en veillant à conserver le caractère intéressant par élimination des individus n'ayant pas le caractère désiré. Le résultat du rétrocroisement est l'obtention d'une lignée convertie, c'est-à-dire quasiment identique à la lignée élite receveuse, mais contenant en plus le caractère désiré.

-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 6^e *back-cross*, la part de la lignée élite est de 98,44 %, on estime alors que la lignée obtenue est suffisamment proche de la lignée élite qui est différente de la lignée élite que par un seul gène.

5-2-Manipulations génétiques

Depuis quelques années, industriels et laboratoires réussissent à contourner la sélection et le croisement en introduisant directement des gènes jugés « intéressants » dans le patrimoine génétique de la plante grâce à des techniques biomoléculaire de transgénèse . Ces techniques permettent d'élaborer des plantes présentant des caractères « inédits », respectivement grâce à la possibilité d'incorporer des gènes d'espèces totalement étrangères et à la possibilité de modifier in situ le génome de l'organisme (en effectuant des couper-collés de fragments d'ADN via des techniques de manipulation du génome plus récemment développées pour arriver au même résultat mais sans insérer de gènes *étrangers*).

5-3-Hybridation de première génération

L'hybridation en première génération ou hybride F1 est une technique très répandue pour obtenir des semences et plants ayant des hautes performances. On bénéficie ainsi de la vigueur hybride ou hétérosis, ainsi que d'autres caractères éventuellement comme la stérilité des produits . Les plants obtenus ne sont pas dans ce cas destiné à être employés à nouveau pour produire la génération suivante. Il ne s'agit donc pas à proprement parler de culture sélective.

6-Sélection assister par des marqueurs moléculaires: c' est une méthode de sélection des animaux d'élevage ou des végétaux qui s'appuie sur la recherche de gènes marqueurs.

Elle consiste à repérer des gènes marqueurs dont la présence chez un individu peut être rapidement observée. Ces gènes permettent ensuite de faciliter la pratique des rétrocroisements, de mieux connaître le potentiel génétique de l'individu ou encore de mieux prédire le résultat d'un croisement. Les marqueurs les plus couramment utilisés sont les SNPs et dans une moindre mesure, les SSRs.

Qu'est ce qu'un marqueur moléculaire?

Les **marqueurs moléculaires** sont un type de marqueur génétique composé de fragments d'ADN qui servent de repères pour suivre la transmission d'un segment de chromosome d'une génération à l'autre. Ainsi, si un allèle X porté par un individu est porté par son père mais pas par sa mère, l'individu l'a reçu de son père. Les marqueurs moléculaires pour cet allèle X permettent alors d'établir l'origine parentale de cet allèle.

Contrairement aux marqueurs associés à des caractéristiques morphologiques, physiologiques ou biochimiques, les marqueurs moléculaires révèlent directement les modifications du patrimoine génétique qu'ils se traduisent ou non par une modification phénotypique (phénotype), physiologique ou biochimique. Ces marqueurs moléculaires sont donc des indicateurs neutres de variabilité génétique qui permettent d'identifier le polymorphisme entre famille, genres, espèces, variétés, populations et même entre individus...

7. RÉSISTANCE AUX MALADIES ET PARASITES

7.1. Importance de l'amélioration génétique: Maladies, parasites et prédateurs ont toujours provoqué des pertes considérables. En l'absence d'une protection efficace, les variétés modernes sont plus exposées que les populations anciennes à cause de la disparition d'adaptations protectrices au cours de la domestication, de l'uniformité des variétés, qui facilite l'adaptation des agents pathogènes, et de l'extension des cultures, favorable à celle des parasites. La protection des cultures par des pesticides devrait être réservée à la lutte contre des épidémies accidentelles et localisées. L'utilisation prolongée de ces produits n'est pas justifiée, à cause de leur coût, de leurs conséquences écologiques et de l'adaptation inévitable des parasites. L'amélioration de la résistance des variétés est donc primordiale, mais elle est difficile parce que les agents pathogènes s'adaptent aussi à la résistance des plantes, obligeant le sélectionneur à modifier sans cesse les variétés pour surmonter la virulence du parasite.

7.2. Contrôle génétique de la résistance: Bien que certains cas paraissent intermédiaires, les mécanismes de résistance se répartissent en deux groupes : une résistance complète (**immunité**) et une **tolérance** qui se manifeste surtout par un ralentissement de la prolifération du parasite et par des symptômes moins graves. Le contrôle génétique est surtout étudié pour les rouilles et autres infections disséminées dans l'atmosphère, mais les mécanismes se sont souvent révélés comparables pour d'autres cryptogames, des virus, insectes, nématodes et même angiospermes parasites.

- **Résistance spécifique.** Cette résistance, appelée aussi **verticale**, est en principe totale, mais n'est efficace qu'à l'égard de certaines souches du parasite. Elle s'explique par une interaction entre molécules des deux partenaires. Cette interaction se traduit généralement par une réaction d'hypersensibilité impliquant la destruction presque immédiate des cellules végétales autour du site d'infection et la mort de l'agent pathogène. Souvent sont impliqués des phytoalexines, antibiotiques de nature généralement phénolique, dont la synthèse est induite localement par des "éliciteurs" émis par le parasite. Cette faculté de réaction de la plante dépend d'un gène, le plus souvent dominant.

La résistance **verticale** disparaît si le parasite devient virulent, c'est-à-dire s'il ne produit plus, à la suite d'une mutation, le signal qui déclenche la réaction de la plante. Certains parasites, comme *Phytophthora infestans*, se modifient et s'adaptent particulièrement vite. De façon générale, la présence continue de populations importantes du parasite augmente la probabilité de voir apparaître des mutants virulents et la pression de sélection en faveur de ces mutants s'accroît avec l'étendue des cultures résistantes.

En conséquence, la résistance verticale ne protège que temporairement une plante de grande culture contre des agents pathogènes endémiques, polymorphes et qui possèdent une grande capacité de dissémination.

- **Résistance non spécifique.** Cette forme de résistance (**résistance horizontale**) se manifeste par une inhibition variable, mais partielle, de l'infection par les différentes souches d'un parasite. Elle est contrôlée par un nombre indéterminé de gènes dont l'action exacte est diverse, mais pour une bonne part inexplicée. En principe, cette résistance est stable, parce que le parasite ne s'y adapte pas.

Lorsqu'une population végétale reste en présence d'un parasite, sa résistance s'accroît progressivement par accumulation de gènes horizontaux. Au contraire, ceux-ci tendent à disparaître si le parasite est absent ou si la population est protégée par un pesticide ou par un gène vertical.

7.3. Amélioration de la résistance La résistance spécifique étant contrôlée par des gènes majeurs dominants, l'amélioration est facile. L'introduction d'un gène de résistance à l'égard d'une souche de l'agent pathogène à partir d'une espèce ou d'une variété résistante se fait par backcross. Il faut toute fois se souvenir que cette introgression n'a pas d'intérêt si le parasite est capable de s'adapter rapidement. Dans certains cas, on a pu protéger des variétés de façon durable en y accumulant préventivement deux ou trois gènes de résistance ; ces gènes représentent, pour le parasite, un obstacle qui ne peut être surmonté que par la mutation de deux ou trois de ses propres gènes.

L'amélioration de la résistance non spécifique est souvent indispensable, mais elle est plus difficile, à cause de la difficulté d'identifier les gènes. On peut espérer trouver ces gènes dans des populations d'origines diverses, soumises à l'action du pathogène et non protégées par des gènes majeurs. Les populations hybrides seront cultivées en présence de cet agent pathogène, de façon à accumuler les gènes de résistance. La sélection récurrente est aussi possible.

