

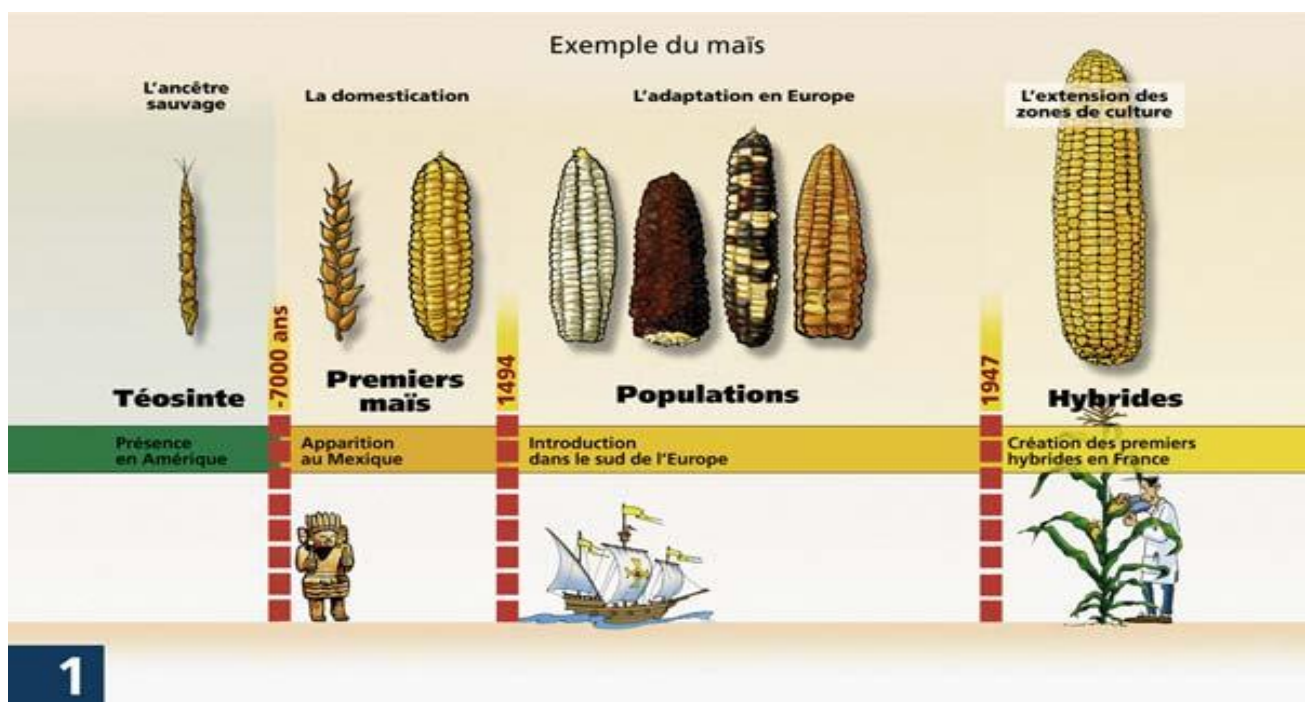
L'évolution des techniques de sélection

1 - La sélection apparaît avec l'agriculture

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.

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

Ceci s'est traduit plus récemment par l'intégration des biotechnologies dans les programmes de sélection. C'est un outil supplémentaire à la disposition du sélectionneur pour repousser certaines limites rencontrées par les voies classiques de l'amélioration des plantes.



1.1. L'exemple du maïs

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

téosinte par l'homme.

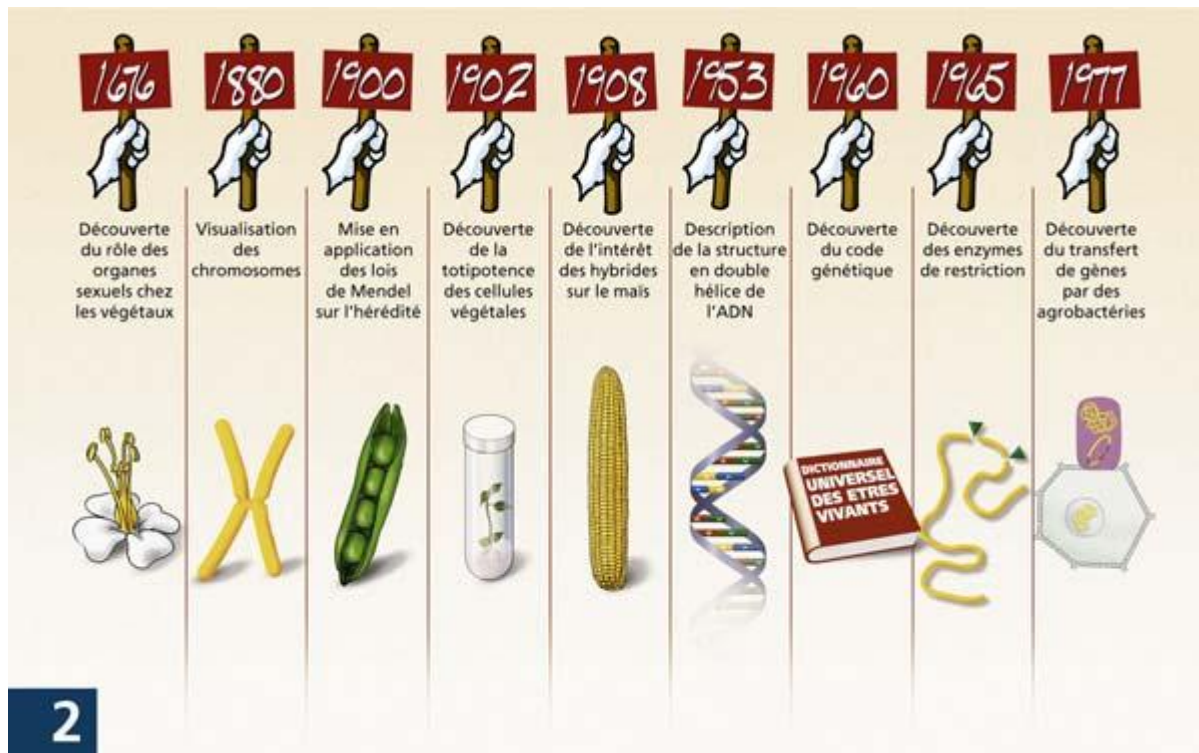
Le **téosinte**, proche génétiquement du maïs, est cependant différent sur le plan morphologique.

Le téosinte présente un tallage abondant, un épi de petite taille et une sensibilité à l'égrenage.

Les **premiers maïs**, datés de - 7 000 ans, ont été découverts au centre du Mexique. Les civilisations indiennes ont effectué sa domestication. Un épi de maïs mesurait alors environ 2,5 cm et les rendements supposés atteignaient 0,12 t/ha. Les caravelles des conquistadors apportent le maïs dans le sud de l'Europe, où il se développe en populations adaptées à chaque terroir. Avec la redécouverte des lois de Mendel à la fin du 19e siècle et la mise en évidence du phénomène d'hybridation au début du 20e siècle, naît la sélection des plantes, telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Le maïs est l'espèce dans laquelle les premiers **hybrides** ont été créés. Ces variétés hybrides sont plus vigoureuses que les **populations**, c'est le résultat de l'hétérosis, appelé également vigueur hybride. Elles ont permis notamment l'extension des zones de culture du maïs grâce à une meilleure tolérance au froid et une plus grande précocité. Cultivées aux Etats-Unis, en 1936, elles se sont ensuite développées en France à partir de 1947, suite aux travaux de l'INRA. Ces hybrides résultent du croisement entre des lignées américaines de maïs à grains dentés et des lignées européennes à grains cornés. Les premières lignées cornées proviennent de populations locales telles que la population Lacaune, qui était cultivée dans le Sud-Ouest.

2- les repères historiques de la sélection



2.1. Progrès des connaissances

1676. Découverte du rôle des organes sexuels chez les végétaux par Millington-Grew.

1880. Visualisation des chromosomes par Strasburger-Boveri, et mise en évidence de leur implication dans la division cellulaire.

1900. Mise en application des lois de Mendel sur l'hérédité. Ses travaux sur le croisement de deux variétés de petits pois définissent les règles de base de la génétique. C'est la naissance de la sélection des plantes.

1902. Découverte de la totipotence des cellules végétales par Haberland. Un tissu végétal est capable de régénérer une plante.

1908. Découverte de l'intérêt des hybrides par Shull sur le maïs. Le croisement de deux lignées permet d'obtenir un hybride qui exploite l'hétérosis.

1953. Description de la structure en double hélice de l'ADN par Watson et Crick.

1960. Découverte du code génétique par Crick, Nirenberg, Mathaeri et Ochoa.

1965. Découverte des enzymes de restriction par Aber, Smith et Nathans. Ces protéines coupent l'ADN au niveau de sites particuliers.

1977. Découverte du transfert de gènes par des agrobactéries, bactéries du sol pathogènes de nombreuses espèces végétales, par Schell. Il a montré que la virulence de ces bactéries est due à un transfert de gènes de la bactérie vers les cellules végétales.

2.2.Progrès des techniques

Les progrès des connaissances ont permis ensuite de mettre au point les techniques. Voici quelques exemples d'application :

1911. Notion de liaison génétique par Morgan. 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.

1935. Première carte génétique partielle du maïs par Emerson.

1950. Premières techniques de culture in vitro. Il s'agit de la technique de multiplication végétative, développée par Morel et Martin, sur la pomme de terre.

1961. Illustration des principes d'analyse des locus impliqués dans la variation des caractères quantitatifs, par Thoday.

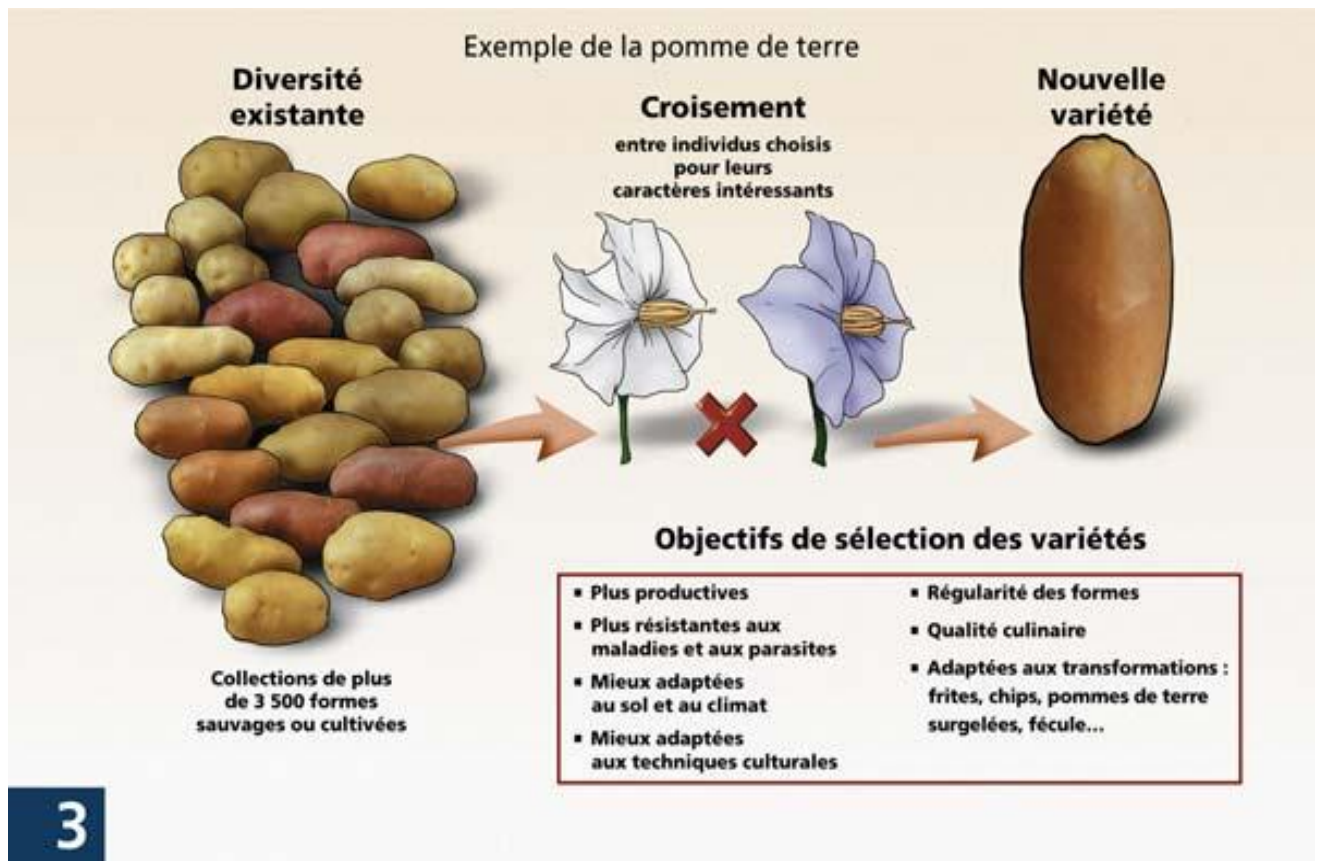
1964. Premières cultures de cellules sexuelles mâles chez le *Datura innoxia*, par Guha et Maheshwari. Elles ouvrent la voie à la production de plantes haploïdes.

1975. Description de la méthode de Southern, du nom de son inventeur. Le principe de la technique repose sur l'hybridation de l'ADN avec une sonde d'ADN marquée.

1978. Premières fusions de protoplastes, par Melchers. Elles permettent de s'affranchir partiellement de la barrière entre espèces.

1983. Premiers tabacs transgéniques obtenus en même temps par une une équipe belge et une équipe américaine.

3. Les principes de l'amélioration de plante



3.1. La sélection

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

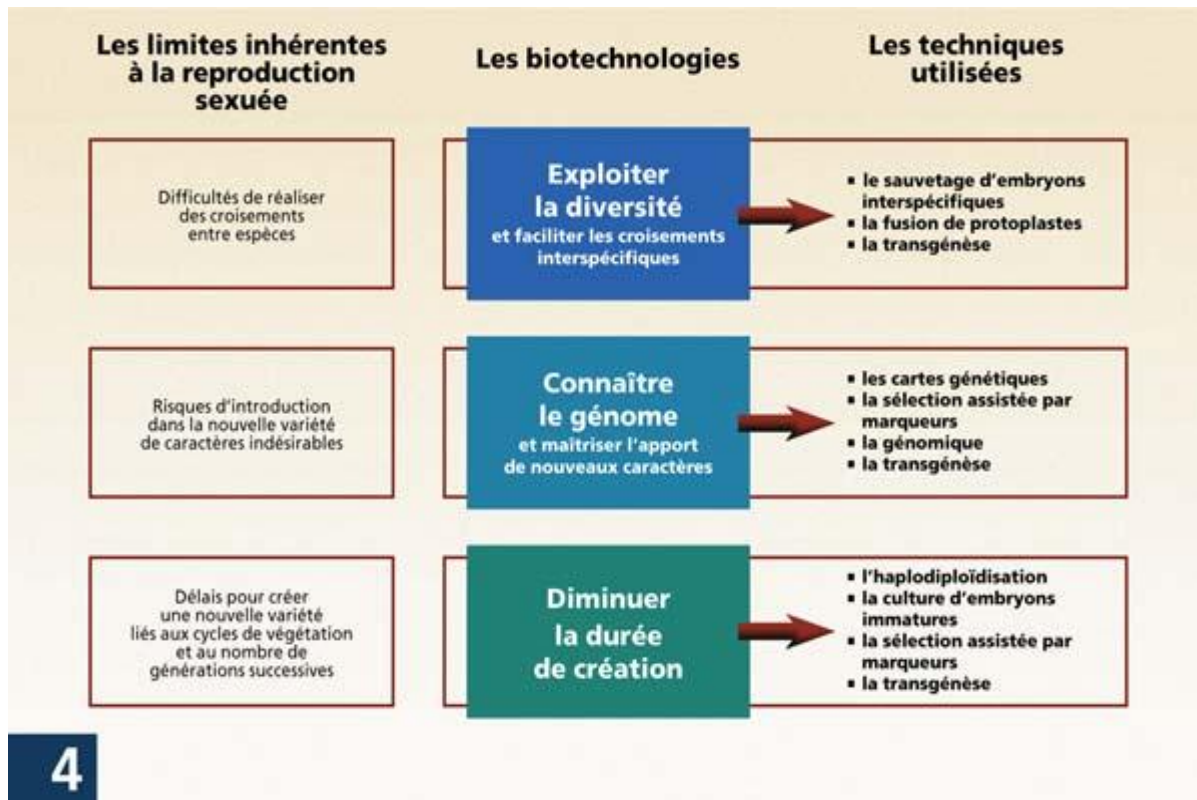
3.2. Les objectifs de la sélection

Les objectifs de la sélection sont nombreux. Généralement, le premier critère évoqué est la productivité. La productivité dépend de nombreux facteurs. Elle peut être le résultat de la réduction des facteurs limitants du rendement, mais le potentiel de productivité peut également être accru par une amélioration de la physiologie des plantes : augmentation de

l'activité photosynthétique, meilleure élaboration, migration et répartition des éléments constitutifs des réserves de la plante (grains, racines...). Les espèces végétales sont également plus ou moins plastiques. Certaines plantes comme le blé nécessitent une adaptation variétale importante aux conditions de sol et de climat. Pour les agriculteurs, l'un des facteurs les plus importants est la résistance aux maladies et aux parasites. Ceci joue non seulement sur le rendement, mais aussi sur le revenu de l'agriculteur. En effet, il peut exister d'autres solutions comme l'utilisation de produits de traitement qui, le cas échéant, peuvent augmenter les charges opérationnelles sur la culture. La sélection prend depuis longtemps en compte le **besoin qualitatif et les contraintes industrielles des transformateurs**. La qualité intrinsèque de la récolte, son état sanitaire, l'homogénéité des lots, l'aptitude des lots à la conservation, les qualités technologiques pour la transformation et les utilisations (boulangerie, biscuiterie, trituration...) sont des facteurs de sélection de plus en plus importants, diversifiés et codifiés dans des cahiers des charges.

D'autre part, on demande de plus en plus à l'agriculture de respecter l'environnement, de contribuer à des activités industrielles et de produire des molécules à usage pharmaceutique. La recherche prend déjà en compte ces nouveaux critères afin de permettre par exemple la production d'énergie, de substances transformées à usage non alimentaire, de vaccins ou de médicaments.

4. Les apports des biotechnologies à la sélection classique



4.1. Les limites inhérentes à la reproduction sexuée

L'amélioration des plantes donne d'excellents résultats. Des schémas de sélection adaptés à chaque espèce ont été élaborés et optimisés. Ainsi, pour l'ensemble des espèces cultivées, des progrès importants ont pu être réalisés (productivité, adaptation au milieu, qualité technologique...). Cependant, cette voie se heurte à trois limites inhérentes à la reproduction sexuée : l'incompatibilité, l'imprécision et le temps. Les biotechnologies apportent de nouvelles réponses à la sélection classique : pour faciliter les croisements interspécifiques, pour maîtriser les transferts de gènes, pour créer rapidement des lignées pures.

4.1.1. Faciliter les croisements interspécifiques

Lorsque le sélectionneur cherche à réaliser des croisements interspécifiques (entre plantes d'espèces différentes), 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'embryons, de fusion de protoplastes et de transgénèse permettent notamment de faire face à ces handicaps.

4.1.2 .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 de 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 transgénèse permettent de cibler et d'introduire un gène d'intérêt dans un fond génétique.

4.1.3. Diminuer la durée de création

Ce point est en partie lié aux deux aspects précédents. La sélection est un processus de longue haleine, il faut compter 5 à 15 ans, selon les espèces, pour créer une nouvelle variété et la mettre sur le marché. Les techniques d'haplodiploïdisation 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.

4.2. Exemples de réponses des biotechnologies

Les biotechnologies ont été intégrées dans les processus de sélection depuis leur développement. Voici trois exemples qui illustrent l'apport des biotechnologies dans le contournement des limites de l'amélioration des plantes par voie classique.

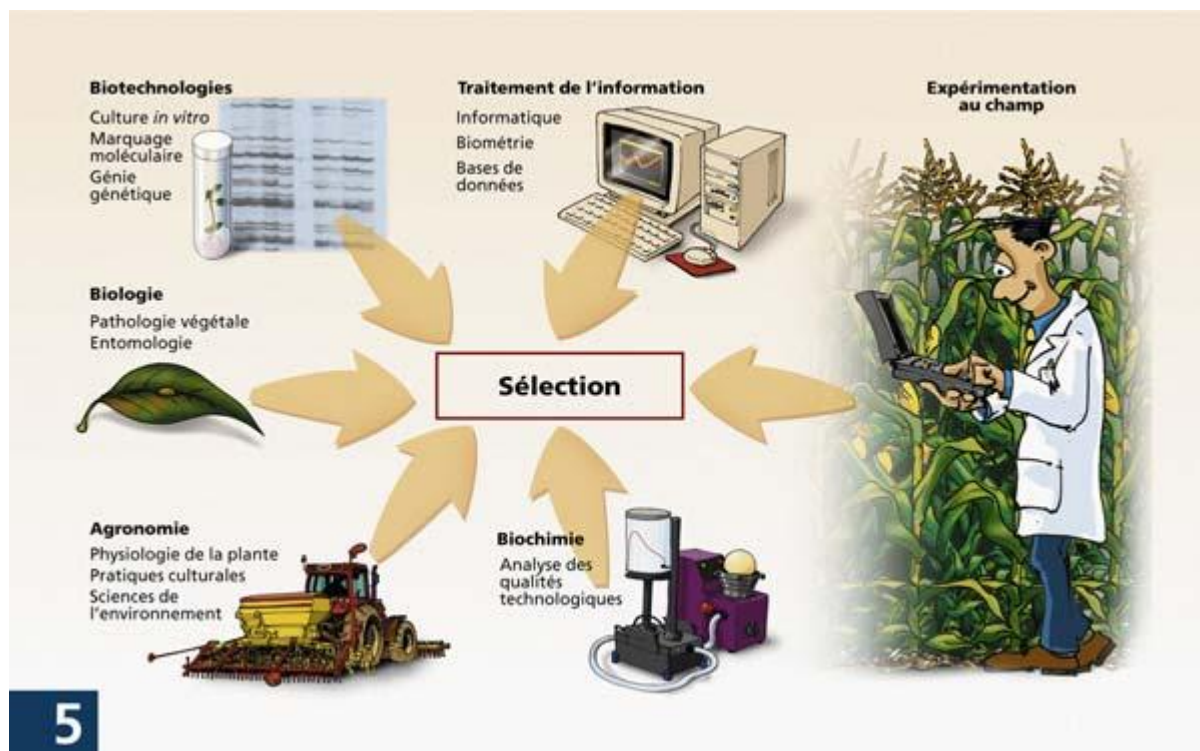
** Les espèces sauvages de tournesol constituent un bon réservoir de source de résistances aux pathogènes. On a donc recours à des croisements interspécifiques entre tournesols cultivés et sauvages. Toutefois, ceux-ci sont souvent limités par des phénomènes d'avortement des embryons issus de ces croisements. La technique de sauvetage d'embryons a donc été appliquée afin de permettre ces apports de gènes. Ainsi, des variétés de tournesol résistant au **mildiou** et au **Sclerotinia**, deux pathogènes majeurs de cette culture, ont pu être obtenues par ces techniques, dès 1985.

** La transgénèse est apparue au début des années 1980 dans le domaine végétal. Elle permet d'améliorer une plante à partir de gènes provenant d'une autre espèce, d'un autre genre, éventuellement d'un autre règne. Cette méthode permet une maîtrise beaucoup plus importante

des transferts génétiques : on introduit de l'ordre de 10 à 100 fois moins d'ADN étranger. Les applications concernent de nombreuses espèces et caractères. On peut citer notamment l'obtention, en 1994 aux Etats-Unis, de variétés de courgettes résistantes aux virus.

** De nouvelles lignées de colza ayant une qualité d'huile et de tourteaux améliorée ont été mises au point. Ce sont les colzas double zéro, sans acide érucique et sans glucosinolate. Cette caractéristique a pu être introduite rapidement et efficacement à l'ensemble des géniteurs grâce à l'haplodiploïdisation. Ainsi, on dispose, depuis le début des années 1990, de variétés de colza double zéro tout à fait compétitives d'un point de vue agronomique et de qualité améliorée.

5- la sélection, 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...

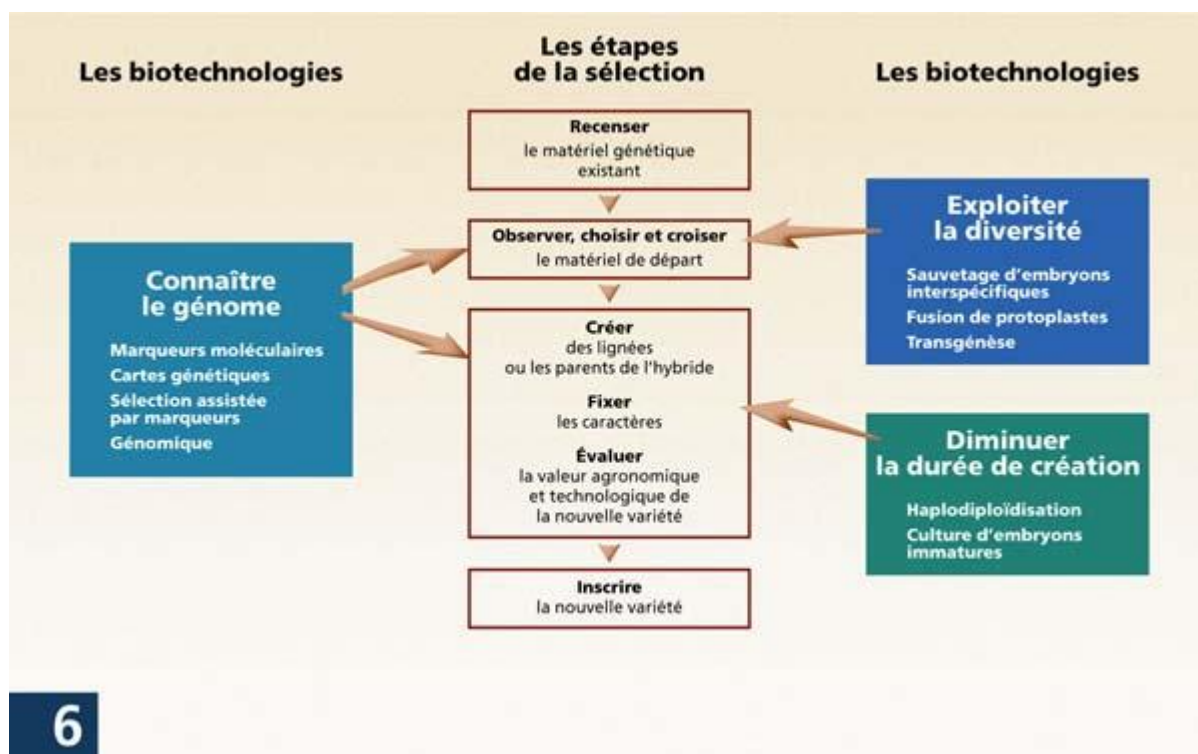
De nombreuses disciplines, les **biotechnologies**, le **traitement de l'information**, la **biologie**, l'**agronomie** et la **biochimie**, offrent des outils précieux aux sélectionneurs et permettent

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.

6. Les biotechnologies dans un programme de sélection



6.1. Les étapes de la sélection

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

6.1.1. Recenser le matériel génétique existant en mettant en collection les écotypes et le matériel déjà sélectionné.

6.1.2. Observer, choisir et croiser le matériel de départ. Il s'agit de réunir dans une seule plante les caractères intéressants et complémentaires des parents.

6.1.3. Créer, fixer et évaluer les nouvelles plantes après le croisement des parents. Les grains récoltés sont semés pour donner la première génération, F1, où toutes les plantes sont identiques. A la deuxième génération, la F2, les plantes obtenues sont très différentes les unes des autres car il y a disjonction des caractères. A partir de cette génération, la sélection commence. Le sélectionneur choisit les plantes en fonction de critères définis correspondant le mieux aux objectifs de départ.

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

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

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

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

6.2. La place des biotechnologies

Les biotechnologies peuvent intervenir à différents niveaux dans un programme de sélection :

6.2.1. Exploiter la diversité. Il s'agit, pour le sélectionneur, d'accroître les possibilités de choix des parents à l'origine du croisement de départ. Les techniques de biologie cellulaire, sauvetage d'embryons et fusion de protoplastes, parce qu'elles permettent de s'affranchir des contraintes de la reproduction sexuée, constituent une aide largement utilisée, tout comme la transgénèse.

6.2.2. Connaître le génome. Les techniques de marquage moléculaire permettent de rendre plus précises et plus rapides les opérations classiques de sélection. Elles interviennent à chaque étape du cycle de sélection. Les outils mis en place sont les marqueurs moléculaires qui permettent l'analyse des individus, la construction de cartes génétiques pour localiser les gènes sur les chromosomes, la sélection assistée par marqueurs pour suivre les gènes au cours des générations. La recherche des gènes intervenants peut ainsi être facilitée et leur isolement est réalisé grâce à la génomique.

6.2.3. Diminuer la durée de création. Les gains de temps peuvent être réalisés de deux façons : soit en fixant plus rapidement le matériel génétique, pour l'obtention de lignées, soit en augmentant le nombre de générations par an. Les techniques mises en jeu sont alors appelées à la culture *in vitro* de gamètes ou haplo diploïdisation et à la culture d'embryons immatures.