

I. Domestication et sélection

A. Définition de la domestication

La domestication des plantes est un processus évolutif, lent et progressif, par lequel l'homme modifie, intentionnellement ou non, la constitution génétique d'une population de plantes jusqu'au point où les individus au sein de cette population perdent leur capacité de survivre et de se reproduire par eux-mêmes dans la nature.

1. Les actions de l'homme sur les plantes

Depuis le début de l'agriculture, l'homme a sélectionné des variétés de plantes lui permettant d'obtenir de meilleures productions, tout d'abord de manière empirique, puis en utilisant les biotechnologies lui permettant de répondre à des objectifs nombreux et variés.

A. Des variétés sélectionnées de manière empirique

L'homme exerce une sélection artificielle liée à l'observation sur les plantes qu'il cultive. Il sélectionne des caractéristiques différentes de celles des plantes sauvages. Il favorise les caractères intéressants pour lui.

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.

La sélection naturelle favorise les caractères permettant de survivre et de s'adapter au milieu de vie. Par la sélection artificielle, l'homme choisit des plantes présentant des caractères avantageux pour la culture, la récolte, la consommation.

- **Définition Sélection artificielle**

La sélection artificielle est un processus de sélection par l'homme qui conserve les caractères qui présentent un avantage pour lui ((taille, couleur, goût, vigueur). Les graines des plants les plus intéressants sont conservées pour être semées l'année suivante.). Elle s'oppose à la sélection naturelle.

- **Définition Sélection empirique**

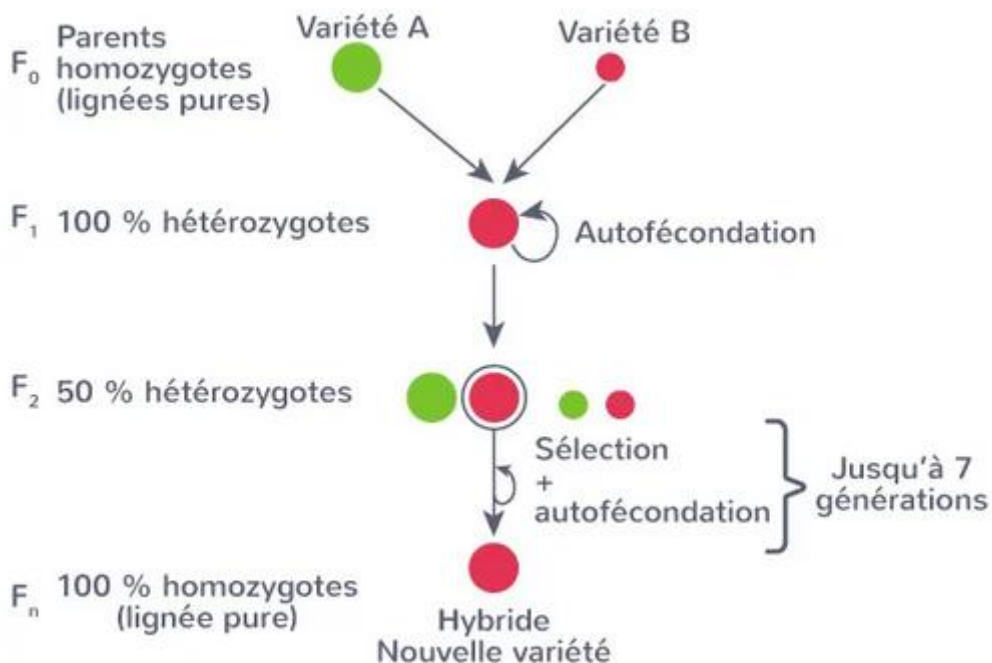
La sélection empirique est basée sur l'observation. Elle ne s'appuie sur aucune théorie. La comparaison d'une plante cultivée et d'une plante voisine sauvage supposée être l'ancêtre de la plante cultivée montre qu'au cours du temps, l'homme a sélectionné certains caractères : taille, couleur, nombre de graines, etc.

B. Les techniques de sélection artificielle

Aujourd'hui, la sélection artificielle est menée de manière programmée en utilisant deux méthodes principales :

- L'hybridation programmée

L'hybridation programmée consiste à croiser des plants sélectionnés pour leurs caractères intéressants. Les descendants portant les caractères souhaités sont sélectionnés puis autofécondés pendant plusieurs générations afin d'obtenir des variétés hybrides de lignées pures. Il faut plus d'une dizaine d'années pour obtenir la variété souhaitée.



- Fig1. sélection artificielle par L'hybridation programmée. *L'hybridation programmée*
Des variétés de lignées pures possédant des caractères souhaitant être rassemblés dans une seule variété sont croisées. Les descendants (génération F1) de ce premier croisement sont tous hétérozygotes et seuls les caractères dominants sont visibles. Les plants possédant les caractères souhaités sont sélectionnés et autofécondés pendant plusieurs générations, jusqu'à ce que l'on obtienne des plants possédant tous les mêmes caractéristiques. On a alors des plants possédant les mêmes allèles, ils sont 100 % homozygotes. Une nouvelle variété est née. <https://www.kartable.fr>

- La transgénèse

La transgénèse, technique de génie génétique, consiste à introduire dans le génome de la plante que l'on souhaite cultiver des gènes de caractères recherchés. Ces gènes sont issus d'autres organismes vivants : animaux, végétaux ou bactéries.

c. l'objectif de la sélection artificielle

› Objectifs de Consommation :

- Améliorer les qualités nutritionnelles, gustatives, visuelles.
- Augmenter la durée de conservation.
- Améliorer la qualité de la récolte.

› Objectifs Sanitaires et Médicaux :

- Augmenter leur résistance aux maladies, parasites et agents infectieux.
- Augmenter la production de molécules pouvant être utilisées dans l'industrie pharmaceutique.

› Objectifs Environnementaux et de Culture

- Augmenter la productivité (Objectifs de cultures).
- Diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires.
- Lutter contre le changement climatique en :
 - Réduisant la sensibilité au stress hydrique.
 - Améliorant l'adaptation aux sols et aux climats difficiles.

2. Les conséquences de la domestication des plantes

La domestication des plantes a des conséquences majeures à la fois sur les plantes et sur la population humaine :

- › **Modification de la biodiversité** : La diversité des plantes est altérée aux niveaux des espèces et de la génétique.
- › **Vulnérabilité des cultures** : Cette réduction de la diversité rend les cultures plus fragiles, obligeant l'homme à adapter ses pratiques culturales.
- › **Pression évolutive sur l'homme** : En retour, les plantes domestiquées exercent une pression de sélection sur le génome humain (par exemple, l'adaptation à la consommation de lait ou de céréales).

a. Perte de Biodiversité et Vulnérabilité des Cultures

La domestication, en sélectionnant des caractères pour les besoins humains, a conduit à un appauvrissement de la diversité allélique des espèces cultivées.

- **Conséquence Négative** : Cette réduction de la diversité génétique rend les cultures plus vulnérables aux événements météorologiques et aux maladies. **Exemple (Maïs)** : La sélection de la floraison synchrone (pour une récolte unique) a rendu le maïs cultivé plus sensible aux intempéries, contrairement à son ancêtre sauvage (téosinte).
- **Monoculture** : La pratique agricole de ne cultiver qu'une seule espèce sur de grandes surfaces exacerbe cette vulnérabilité et contribue à l'appauvrissement des sols.
- **Homogénéité Génétique** : La sélection et l'autofécondation ont créé des variétés homozygotes (possédant les mêmes allèles), ce qui réduit la capacité d'adaptation des plantes.
- **Préservation** : Des banques de semences sont utilisées pour conserver la biodiversité (par exemple, 37 000 semences par an chez les semenciers).

b. Modification des Pratiques Culturelles pour Pallier la Vulnérabilité

Face à la fragilité des cultures, l'homme a modifié ses méthodes en utilisant des techniques plus avancées :

- **Réintroduction de gènes** : Pour lutter contre les maladies, des gènes de résistance issus de plantes sauvages sont réintroduits grâce aux biotechnologies. **Exemple** : Création de la pomme 'Ariane' (résistante à la tavelure) par une longue série de croisements, incluant un parent sauvage résistant.
- **Lutte Biologique** : Utilisation d'organismes vivants (insectes, bactéries, etc.) pour prévenir et lutter contre les ravageurs, réduisant ainsi l'usage de produits phytosanitaires.
- **Diversification** : L'homme favorise l'agriculture diversifiée (rotation des cultures) et réintroduit la pratique de la jachère pour faire face à la vulnérabilité des monocultures et à l'appauvrissement des sols.

c. Conséquences sur la Population Humaine (Coévolution)

La domestication des plantes a également exercé une pression de sélection naturelle sur le génome humain, un phénomène appelé coévolution.

Définition de la Coévolution : L'évolution d'une espèce influence l'évolution d'une autre afin que leur relation puisse se poursuivre.

Sélection Génétique chez l'Homme : L'intégration des plantes cultivées au régime alimentaire a sélectionné les individus les plus aptes à les digérer.

Exemple 1 (Amidon) : Les populations ayant un régime riche en amidon (céréales, tubercules) ont évolué pour posséder un nombre plus élevé de copies du gène de l'amylase salivaire (enzyme digestive), ce qui favorise la digestion de l'amidon.

Exemple 2 (Omégas 3 et 6) : Après la Révolution agricole du Néolithique, le régime est devenu moins riche en viande/poisson. La fréquence de l'allèle codant pour l'enzyme permettant la synthèse des omégas 3 et 6 a augmenté chez les agriculteurs. Cette évolution génétique a permis aux humains de mieux synthétiser ces lipides essentiels.

II. Connaissance et gestion de la biodiversité

La **diversité génétique** des plantes est le **principe majeur** de leur amélioration. Il est crucial de connaître et de gérer les ressources génétiques, qu'elles proviennent d'espèces sauvages, cultivées, anciennes ou récentes.

1. Enjeux et Méthodes de Gestion

La gestion efficace de la biodiversité végétale repose sur quatre actions essentielles :

- Collecter la variabilité génétique.
- Caractériser cette variabilité (la décrire).
- Conserver les ressources génétiques.
- Gérer ces ressources.
- Caractérisation de la Variabilité
- La caractérisation est l'inventaire des caractères des plantes, qui peuvent être :
 - Visibles (phénotypiques) : comme la taille de l'épi ou la couleur du grain.
 - Invisibles (moléculaires) : via l'utilisation des marqueurs moléculaires.

2. Le Rôle Central de la Génomique

La génomique est une science en pleine expansion qui révolutionne la gestion de la biodiversité.

- › **Nouvelles Possibilités** : Elle offre de nouvelles techniques pour repousser les limites des connaissances. Un exemple extrême est la paléo génomique, qui permet de récupérer et d'analyser l'ADN d'organismes disparus (comme un os de mammouth datant de plus d'un million d'années).
- › **Préservation** : La génomique occupe une place centrale dans l'étude et la préservation de la biodiversité. Grâce à sa flexibilité, elle permet l'analyse de nombreux organismes dans des matrices variées, offrant des solutions adaptées aux enjeux complexes de la conservation des espèces et de la compréhension des écosystèmes.

III. Sélection assistée par marqueurs

3. la Conversion Assistée par Marqueurs

La conversion (ou rétrocroisement) est la technique utilisée pour introduire un gène d'intérêt dans une variété élite (lignée receveuse), tout en éliminant les segments génétiques non désirés du parent donneur.

4. Rôle des Marqueurs Moléculaires

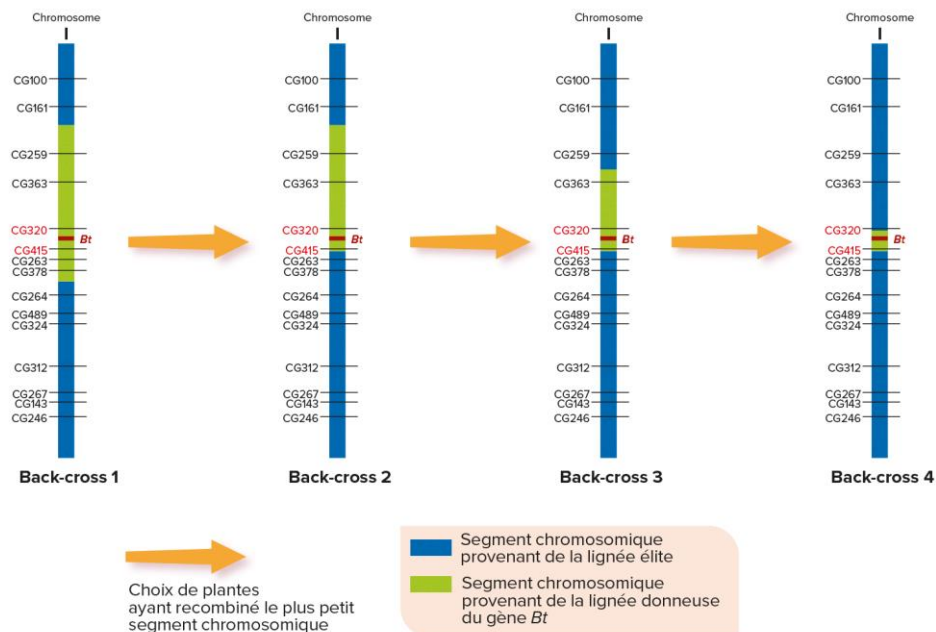
L'utilisation de marqueurs moléculaires (Sélection Assistée par Marqueurs - SAM) augmente grandement l'efficacité de ce processus :

- **Accélération du Temps** : La SAM permet d'atteindre le même niveau de retour vers la lignée élite (97 %) en seulement 4 rétrocroisements (backcrosses), contre un minimum de 7 par sélection classique.
- **Précision du Choix** : À chaque génération, les marqueurs permettent de sélectionner **précisément les plantes qui** : Possèdent le gène d'intérêt (par exemple, un transgène comme le gène Bt).
- Ont recombiné le plus petit fragment chromosomique possible du parent donneur autour de ce gène.
- Ont récupéré le plus grand nombre de fragments du parent élite sur le reste du génome.

Grâce à cette précision, on obtient rapidement (dès la 4^e génération) une lignée quasi isogénique (identique à la lignée élite de départ) contenant uniquement le gène d'intérêt, comme c'est le cas pour l'introgression du gène *Bt* dans le maïs.

LA SÉLECTION ASSISTÉE PAR MARQUEURS

Exemple de l'introgression du gène *Bt* chez le maïs : sélection grâce aux marqueurs proches du gène



© SEMAE

Fig.2. Introgression du gène *Bt* chez le maïs. © SEMAE.

En plus de l'introgression (transfert d'un gène unique), la SAM peut être utilisée pour la construction de génotypes plus complexes. Cette approche se concentre sur les QTLs (Quantitative Trait Loci), qui sont des régions du génome impliquant des caractères quantitatifs (non majeurs). La SAM permet :

- D'introduire ou de cumuler plusieurs QTLs dans un seul génotype, soit par rétrocroisement (backcross), soit en guidant des croisements.
- D'orienter la sélection et d'évaluer la valeur des individus en utilisant les marqueurs moléculaires qui flanquent (entourent) les régions des QTLs.
- Des études sur le maïs ont démontré la faisabilité et l'efficacité de l'application de la SAM pour ces caractères complexes.

IV. Création de plantes transgéniques améliorées

5. Définition Transgénèse

La transgénèse est une technique qui consiste à intégrer un gène d'intérêt issu d'une espèce dans le génome d'un individu d'une autre espèce.

La transgénèse permet de produire des organismes génétiquement modifiés (OGM). Elle permet d'introduire précisément le caractère souhaité par le choix du gène et de s'affranchir de la reproduction sexuée, ce qui constitue un gain de temps.

Par cette technique, les scientifiques cherchent à introduire les gènes de résistance aux ravageurs, pour pouvoir limiter l'utilisation de produits phytosanitaires.

6. Les étapes du transgène

La transgénèse se fait en 5 étapes.

› La première étape consiste à identifier, isoler, intégrer et multiplier un gène d'intérêt :

- Identifier le caractère que l'on veut introduire dans la plante (résistance à certains agents pathogènes, qualité nutritionnelle, etc.) et identifier le gène correspondant dans un organisme. Ce gène d'intérêt peut provenir de tout organisme vivant, plante, animal ou bactérie puisque le code génétique est universel.
- Isoler le gène du génome de l'individu « donneur » grâce à des enzymes de restriction.
- Intégrer le gène sélectionné dans une construction génique associant souvent un gène marqueur. Ce gène marqueur permet de sélectionner les cellules qui ont intégré le gène d'intérêt. Pour réaliser cette construction, le plasmide (ADN circulaire) d'une bactérie est utilisé.
- Multiplier : La construction génique est clonée afin de disposer d'une quantité suffisante d'ADN à introduire dans les cellules végétales que l'on veut transformer.

› La Deuxième Étape : Transférer le Gène

Il existe deux méthodes principales pour transférer la construction génique dans les cellules de la plante :

- **La transformation biologique** : La construction génique est introduite dans une bactérie du sol (rendue avirulente), parasite des plantes, appelée *Agrobacterium*. Cette bactérie présente la propriété de transférer naturellement son génome à celui de la plante parasitée. Cette technique est la plus couramment utilisée.

- **La deuxième méthode est le transfert direct :** La construction génique est introduite dans les cellules de la plante soit par un canon à particules (ou biolistique), soit par l'action d'un agent chimique ou d'un champ électrique.

› **La Troisième Étape : Sélectionner et Régénérer les Cellules Transformées**

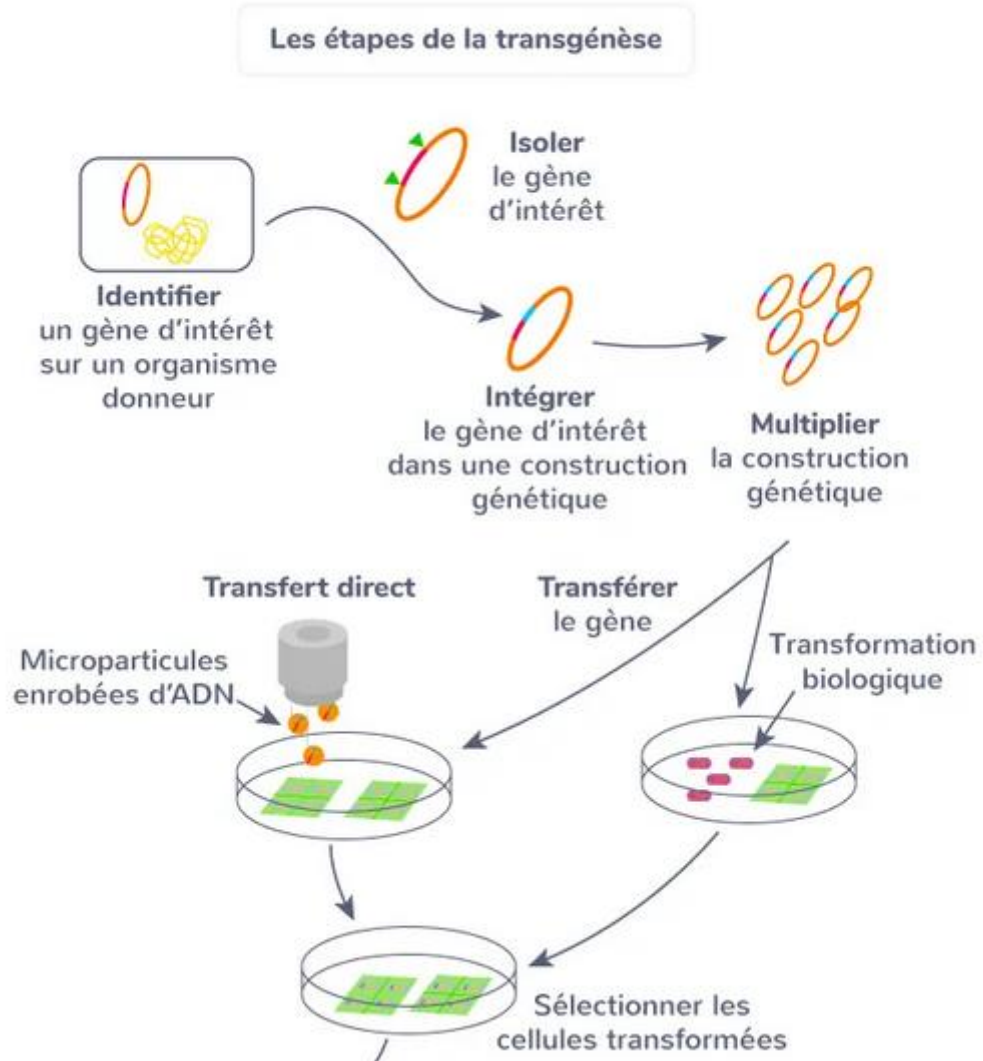
- Les cellules qui ont intégré la construction génique sont sélectionnées à l'aide du gène marqueur (introduit lors de l'étape 1).
- Les cellules transformées se développent en plantules grâce à des milieux de culture spécifiques.
- Les plantules sont ensuite repiquées en pot et acclimatées en serre.

› **La Quatrième Étape : Évaluer les Plants Transformés**

Les plants sont soumis à une évaluation rigoureuse sur plusieurs domaines. L'intensité de l'expression du gène inséré. Leur comportement en champs. Les effets éventuels sur l'environnement.

› **La Cinquième Étape : Croisements et Obtention de Variétés Commerciales**

Les plants sont soumis à des croisements contrôlés pour étudier comment le nouveau caractère est transmis à la descendance. L'objectif final est d'obtenir de nouvelles variétés commerciales qui expriment de manière stable le caractère souhaité.



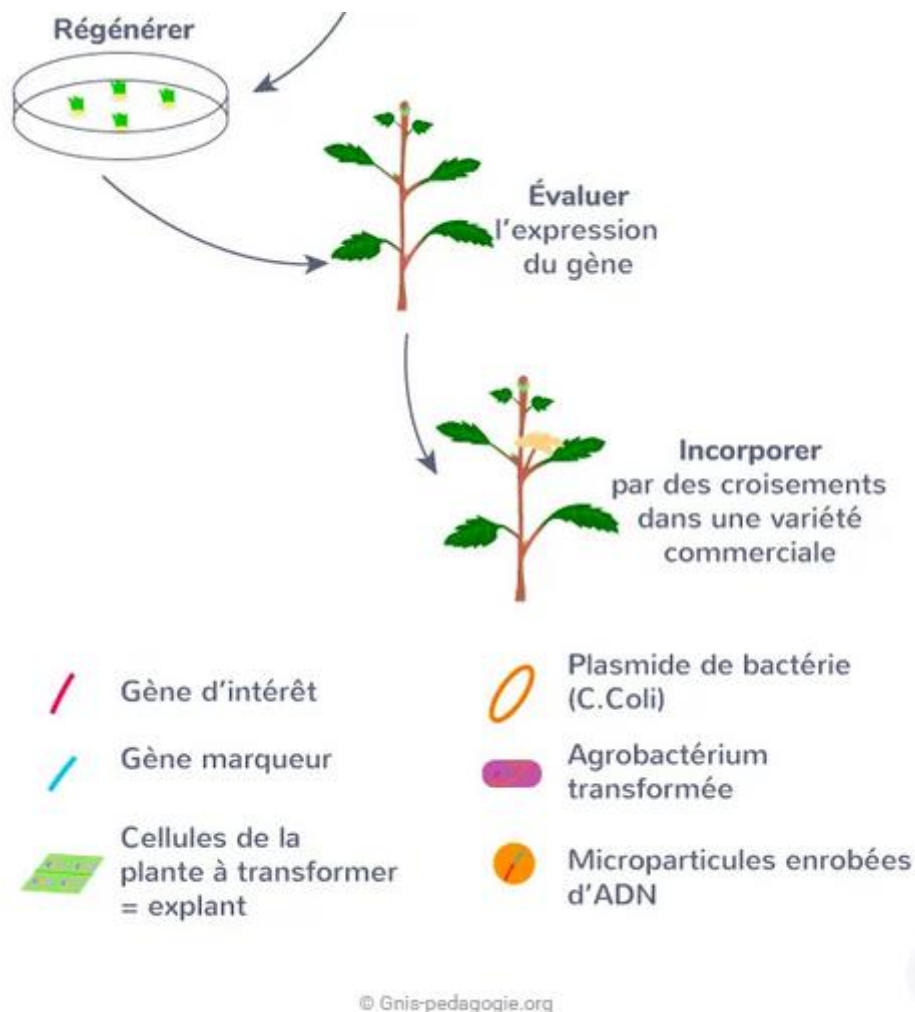


Fig.3. les étapes de transgénèse. <https://www.kartable.fr>

V. Connaissance du fonctionnement des végétaux

la cartographiant et analysant l'intégralité de matériel génétique permet de comprendre les végétaux, ce qui aide à décrypter le fonctionnement de leurs gènes et à comprendre leur évolution. Elle contribue à l'amélioration des plantes par des méthodes comme la sélection assistée par marqueurs, pour développer des variétés plus résistantes, productives ou adaptées à de nouveaux environnements

La génomique éclaire le fonctionnement végétal par :

- **Identification des gènes** : Le séquençage du génome permet de dresser un inventaire complet des gènes d'une espèce et d'identifier ceux qui sont impliqués dans des fonctions clés, comme la photosynthèse ou la croissance.

- **Étude de l'évolution** : La comparaison des génomes entre différentes espèces, révèle des éléments sur leur histoire évolutive et la conservation de leurs gènes.
- **Compréhension des fonctions** : La génomique fonctionnelle analyse l'expression des gènes et leur intégration dans les métabolismes et les processus de développement des plantes.
- **Analyse de la diversité** : L'étude des génomes met en lumière la diversité génétique accumulée par les plantes au fil de leur domestication et de leur adaptation à des environnements variés.

VI. Les puces à ADN

La puce à ADN (ou ADN microarray) est une technique prometteuse de la génétique fonctionnelle qui permet d'étudier l'activité des gènes de manière exhaustive. L'objectif principal est d'identifier tous les gènes actifs (exprimés) dans un organe spécifique (comme la racine) ou en réponse à des conditions environnementales particulières (par exemple, la sécheresse, ou l'attaque par un pathogène).

1. Composition et Fonctionnement de la Puce

- a. **Fabrication de la Puce** : Une puce à ADN est un support (une sorte de petite plaque) sur lequel sont fixés et ordonnés tous les gènes identifiés dans le génome de l'espèce étudiée.

Exemple : Cette technique est réalisable pour des organismes dont le génome est entièrement séquencé, comme la levure ou l'Arabidopsis.

- b. **Hybridation (L'Expérience)** : Un mélange d'ARN messagers (ARNm) est appliqué sur la puce. Ces ARNm sont isolés à partir de l'organe que l'on étudie. Les ARNm reconnaissent les séquences d'ADN correspondantes sur la puce et s'y hybrident.

2. Principe de la Caractérisation

Seuls les gènes qui sont effectivement actifs (exprimés) dans l'organe et les conditions étudiées seront représentés dans les ARNm extraits.

Révélation des Gènes Actifs : Lorsque les ARNm sont utilisés comme sonde sur la puce, on peut révéler en une seule expérience l'ensemble des gènes qui sont exprimés dans l'organe.

3. Analyse des Résultats

La méthode permet une analyse comparative essentielle à la recherche en agronomie : Comparaison : On compare les résultats obtenus (les gènes actifs) entre un lot de plantes

soumises à un stress (par exemple, un stress hydrique) et un lot de plantes cultivées en conditions normales.

Identification : Cette comparaison permet d'identifier précisément :

- Les gènes dont l'expression est induite (activée) par le stress.
- Les gènes dont l'expression est inhibée (désactivée) par le stress.
- Les gènes pour lesquels l'expression est inchangée.

Cette technique fournit des informations cruciales pour identifier des gènes de résistance ou de tolérance à des conditions difficiles, qui peuvent ensuite être utilisés dans des programmes de sélection (comme la transgénèse ou la sélection assistée par marqueurs).