

**Université Mostapha Benboulaïd Batna 2
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département d'Ecologie et Environnement**

**Master II
Biotechnologie Végétale**

**Cours de Biodiversité et Ressources
Phytogénétiques**

ENSEIGNANTE : Dr. SALMI M

Année universitaire 2020/2021

Introduction

Voilà 10 000 ans que les chasseurs-cueilleurs ont réalisé qu'ils pouvaient conserver et planter des semences d'une saison à l'autre. Depuis cette époque, le nombre de ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde n'a cessé de croître. Au cours des millénaires, les agriculteurs ont appris à conserver les semences des cultures qui leur semblaient les plus simples à transformer ou à stocker, les plus résistantes ou simplement les plus savoureuses. Ainsi, plus de 7 000 espèces végétales ont été cultivées ou cueillies pour être consommées. Beaucoup d'entre elles continuent de revêtir une importance cruciale pour la sécurité alimentaire des communautés locales. Aujourd'hui, cette base génétique a été réduite à 150 espèces, cultivées.

On estime qu'actuellement, 30 espèces seulement couvrent 95 pour cent des besoins énergétiques humains et quatre d'entre elles (le riz, le blé, le maïs et la pomme de terre), plus de 60 pour cent. Au vu du rôle important que joue ce nombre relativement restreint d'espèces cultivables pour la sécurité alimentaire, il apparaît crucial de maintenir la diversité existante en leur sein. Si les espèces végétales qui couvrent l'essentiel des besoins énergétiques et en protéines sont assez peu nombreuses, elles sous-tendent souvent une grande diversité. Par exemple, on estime que l'espèce de riz *Oryza sativa* compte 150 000 variétés différentes. Les communautés d'agriculteurs des Andes exploitent plus de 175 variétés de pomme de terre locales. Cette diversité d'espèces permet de cultiver dans différents sols, régions ou conditions météorologiques. La diversité phylogénétique peut également fournir des caractéristiques utiles pour relever les défis futurs, comme adapter nos cultures aux évolutions climatiques ou aux maladies. Ainsi, une variété de blé turc, collectée et stockée en 1948, est restée ignorée jusqu'aux années 80 lorsque l'on a découvert qu'elle comportait des gènes résistant à de nombreux champignons pathogènes. Les sélectionneurs de végétaux utilisent ces gènes pour cultiver des variétés de blé résistantes à plusieurs maladies. Les espèces sauvages apparentées à nos cultures alimentaires – que l'on trouve souvent en périphérie des zones cultivées – peuvent contenir des gènes assurant leur survie dans des conditions difficiles. Ces gènes peuvent apporter aux espèces cultivées apparentées des caractéristiques importantes comme la résistance.

I. La biodiversité

1- Histoire du concept de biodiversité

Le mot "biodiversité" est directement traduit de l'anglais biodiversity, contraction de biological diversity. L'expression biological diversity a été inventée par Thomas Lovejoy en 1980, tandis que le terme biodiversity lui-même a été inventé par Walter G. Rosen en 1985. Le mot biodiversity avait été jugé plus efficace en termes de communication que biological diversity. Le mot « biodiversité » apparaît pour la première fois en 1988 dans une publication, par lorsque l'entomologiste américain Wilson. Donc, ce terme est en fait assez récent : il a intégré les dictionnaires français dans les années 1990.

2- Définition

La biodiversité désigne la diversité des organismes vivants, qui s'apprécie en considérant la diversité des espèces, celle des gènes au sein de chaque espèce, ainsi que l'organisation et la répartition des écosystèmes. Dans son sens le plus large, ce mot est quasi synonyme de « variété du monde vivant ». Le maintien de la biodiversité est une composante essentielle du développement durable.

3- Trois niveaux de la biodiversité

La diversité biologique est la diversité de toutes les formes du vivant. Elle est habituellement subdivisée en trois niveaux :

3-1- La diversité génétique

Elle se définit par la variabilité des gènes au sein d'une même espèce ou d'une population. Elle est donc caractérisée par la différence de deux individus d'une même espèce (diversité intraspécifique).

3-1-1- Les mécanismes permettant la diversité des allèles et des gènes

Au sein d'une espèce, le polymorphisme des séquences d'ADN résulte de l'accumulation de mutations au cours des générations.

Les innovations génétiques, à l'origine de la biodiversité, s'expliquent par les mécanismes de la mutation (créant de nouveaux allèles) et de la duplication suivie de mutation (créant de nouveaux gènes). Ces innovations génétiques peuvent être favorables, défavorables ou neutres pour la survie de l'espèce.

Parmi les innovations génétiques, seules celles qui affectent les cellules germinales d'un individu peuvent avoir un impact évolutif. Les innovations génétiques sont aléatoires et leur nature ne dépend pas des caractéristiques du milieu. Les mutations font naître de nouveaux allèles qui peuvent ou non avoir un impact évolutif, **mais comment naissent les nouveaux gènes ?**

Les événements de duplication concernant un seul gène sont qualifiés de duplication génique. Ces éléments dupliqués peuvent être situés l'un à côté de l'autre, ce que l'on appelle une duplication en tandem ou bien ils peuvent être dispersés au sein du génome.

3-1-2- Les principaux mécanismes permettant la duplication d'un gène

- Par **crossing-over inégal** (lors de la méiose, les chromosomes homologues s'apparient sur les régions semblables, et peuvent éventuellement s'échanger). Ainsi, une partie de l'ADN de l'un des deux chromosomes homologues est transférée sur l'autre. On a ainsi une perte de gènes sur un chromosome et une duplication de gènes sur l'autre si cette portion de chromosome porte un ou plusieurs gènes. On obtient alors une disposition des gènes dupliqués les uns à la suite des autres, en tandem.
- Par **échange ectopique** : lors d'une cassure double brin, il peut y avoir recombinaison avec un site non homologue, puis élongation de la molécule d'ADN suivant la matrice d'ADN recombinante, recopiant ainsi une portion du génome après la cassure. La réparation de la cassure a ensuite pour conséquence l'intégration de cette région dupliquée au génome.
- Par un **mécanisme de transfert horizontal de gènes** : L'ADN exogène provient d'un organisme transducteur (virus, parasite, cellule morte, endosymbionte (mitochondrie, chloroplaste)). Cependant, ce mécanisme d'échange de matériel génétique génère rarement une duplication génique.

3-2- La diversité spécifique :

correspond à la diversité des espèces (diversité interspécifique). Ainsi, chaque groupe défini peut alors être caractérisé par le nombre des espèces qui le composent.

3-3- La diversité écosystémique :

Elle correspond à la diversité des écosystèmes (les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques) présents sur Terre, des interactions des populations naturelles et de leurs environnements physiques.

Le gène est l'unité fondamentale de la sélection naturelle, donc de l'évolution, et certains, comme E.O. Wilson, estiment que la seule biodiversité « utile » est la diversité génétique.

4- Quelle est l'importance de la diversité génétique intraspécifique ?

La diversité génétique est la "matière première" qui permet l'évolution des espèces et donc leur adaptation. Plus une population ou une espèce est diversifiée sur le plan des gènes, plus elle a de chance que certains de ses membres arrivent à s'adapter aux modifications survenant dans l'environnement. Au contraire, moins la diversité est grande, plus la population s'uniformise, les individus deviennent de plus en plus semblables les uns aux autres et il devient peu probable que l'un d'entre eux ait les capacités de s'ajuster à des conditions de vie différentes.

5- Comment l'Homme influence-t-il la diversité génétique des espèces ?

Prenons l'exemple de l'agriculture moderne qui repose en grande partie sur la monoculture, c'est à dire la culture à grande échelle d'une même plante, de spécimens tous identiques sur le plan génétique. Cette méthode présente certains avantages au niveau de la culture proprement dite et de la récolte. Par contre si une maladie ou un parasite s'attaque au champ, tous les spécimens sont frappés de la même manière. Les espèces en monocultures ont donc peu de possibilités de s'adapter aux transformations de leur environnement.

Parmi les exemples de l'utilité de la diversité face à l'homogénéisation génétique des variétés de plantes cultivées, on peut en citer deux:

- En 1970, 85 % du maïs cultivé aux États-Unis était quasiment homogène. La résistance de cette plante à l'helminthosporiose, maladie cryptogamique, fut surmontée par le champignon et l'épidémie provoqua des dégâts considérables.
- En 1980, pour la même raison, 90 % de la récolte cubaine de tabac fut détruite par le mildiou.

Mais malheureusement la diversité phytogénétique est menacée par « l'érosion génétique ».

6- L'érosion génétique

L'érosion génétique est la disparition de variétés fragiles au profit de variétés plus résistantes. Elle est liée au milieu naturel et aux activités humaines. Dans l'agriculture, elle se manifeste sous forme d'uniformisation génétique : des variétés locales, végétales ou animales, bien adaptées, sont substituées à d'autres, jugées plus productives.

6-1- Les causes de l'érosion génétique

Aujourd'hui, nous connaissons une disparition inquiétante de certaines espèces végétales sauvages, de populations d'espèces cultivées et de la diversité génétique afférente. À cela, les grandes raisons :

- Le remplacement des variétés locales par des variétés modernes est la principale cause d'érosion génétique.
- Une demande croissante de terres et de ressources biologiques suite à la croissance de la population humaine, de production et de la consommation.
- L'apparition de nouveaux ravageurs, de plantes adventices et de maladies ou encore la dégradation environnementale.
- l'urbanisation.
- le défrichage par la déforestation.
- Les incendies de forêts
- La surexploitation de nombreuses ressources forestières et sauvages a provoqué l'extinction de certaines d'entre elles.
- Les pollutions des sols, de l'eau et de l'atmosphère et le réchauffement climatique sont à l'origine de perturbations d'écosystèmes et de contaminations en masse

6-2- L'érosion menace

La diversité végétale est menacée par «l'érosion génétique», un terme inventé par les scientifiques pour expliquer la perte de gènes ou de combinaisons de gènes tels que ceux trouvés dans les variétés adaptées aux conditions locales.

7- Notion de l'espèce

L'espèce est l'entité fondamentale des classifications, qui réunit les êtres vivants présentant un ensemble de caractéristiques morphologiques, anatomiques, physiologiques, biochimiques et génétiques, communes.

7-1- Le critère morphologique

Les espèces ont d'abord été définies uniquement d'après des caractères morphologiques. Appartiennent à la même espèce tous les individus qui se ressemblent entre eux plus qu'ils ne ressemblent à tout individu appartenant à une autre espèce. Le phénotype est l'ensemble des caractéristiques observables d'un individu. Il résulte de l'expression des combinaisons génétiques de l'individu dans un contexte environnementale particulier : on dit qu'il résulte de l'interaction d'effets génétiques et environnementaux.

7-2- Le critère d'interfécondité

Pour remédier aux difficultés que soulève l'utilisation du seul critère morphologique, les naturalistes ont eu l'idée de lui associer une seconde crière, le critère d'interfécondité.

« Appartiennent à la même espèce les individus morphologiquement identiques, qui par fécondation réciproque, donnent les graines fertiles d'où naissent des individus présentant les mêmes caractères morphologiques que les parents.

a) Lorsque, après croisement entre deux individus, il ne se forme pas des graines ou lorsque les graines formées sont stériles, les deux individus n'appartiennent pas à la même espèce.

b) Lorsque le croisement donne naissance à des graines fertiles et que les individus nés de ces graines sont semblables aux parents, sont eux-mêmes féconds entre eux et que, dans leur descendance, les caractères morphologiques restent stables, les deux individus appartiennent à la même espèce.

7-3- Le critère physiologique

Un troisième critère, basé sur les caractères physiologiques, est parfois utilisé pour préciser la définition de l'espèce. Il exprime des différences d'ordre écologique et, parfois des différences d'ordre biochimique.

-Différences d'ordre écologiques

Les espèces diffèrent par leur cycle végétatif : elles peuvent être annuelles, bisannuelles, vivaces. Elles diffèrent par leurs exigences (terrain acide, alcalin, chaleur, lumière...). Ces divers facteurs (nature du sol, conditions climatiques) sont des facteurs « écologique ».

-Différences d'ordre biochimiques

Les caractères chimiques devraient être, en principe, très utiles pour la définition des espèces, dans la mesure où ils permettent de dégager, les caractéristiques fondamentales d'un métabolisme. (ex ; la cellulose, la chlorophylle, l'amidon le saccharose)

-4- Le critère Cytologique

Enfin, les recherches modernes ont permis d'ajouter un 4ème critère : Une espèce est définie, en effet, par ses caractéristiques chromosomiques et les variations observables sont ici, de divers ordres :

1- Nombre de chromosomes : On distingue conventionnellement par n le nombre de chromosomes des gamètes, quel que soit le degré de ploidie l'espèce considérée. Et par x le nombre de chromosomes des gamètes des individus dont l'origine n'est ni l'hybride ni polyploïde (dans ce cas $n=x$; au contraire, dans les espèces polyploïdes, $n=ex$, $3x$ etc..)

2- Dimensions des chromosomes

3- Morphologie des chromosomes : existence de stabilité etc..

4- Structure des chromosomes : présence de « bandes » dont le nombre par des techniques de coloration particulières.

On peut résumer avec Cuénot, Les caractéristiques de l'espèce dans la définition suivante : « Une espèce est une réunion d'individus apparentés, ayant même morphologie, héréditaires, mêmes caractères physiologiques (physiques, chimiques, écologiques) et un genre de vie commun. Très généralement, ils ne peuvent donner de descendants féconds avec les représentants des espèces voisines, ce qui maintient l'autonomie du groupe ».

➤ **Comment conserver ?**

Les modes de conservation

a- La conservation in situ

La conservation in situ est la forme de conservation la plus performante et la plus intéressante dans la mesure où elle permet la conservation d'écosystèmes entiers (organismes et interactions). Son principe est simple : il consiste à préserver les espèces menacées dans leurs écosystèmes, là où elles vivent de façon naturelle- C'est la solution qui était préconisée dans les années 70-80 par les milieux écologistes protectionnistes. Des parcs naturels furent ainsi constitués, zones d'extinction variable mais strictement interdites aux activités humaines.

b- La conservation ex situ

Consiste à mettre à l'abri les ressources génétiques hors de leur habitat naturel. Elle se réalise par une coordination des efforts nationaux et internationaux concrétisés par les Bureaux de la diversité, aussi bien pour les espèces sauvages que pour les espèces cultivées. La conservation elle-même est le fait de conservatoires génétiques qui peuvent être, selon le type de matériel biologique, des banques de gènes ou des sites de culture ou d'élevage. Principal inconvénient de la méthode : mise à l'écart de son habitat naturel, l'espèce conservée ex-situ

n'évolue plus sous la pression de l'environnement et devient incapable de résister par exemple à des parasites qui, eux auront continué d'évoluer pour survivre.

b-1- Bureau international et National de la diversité

En 1970, La FAO créa l'International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). Cet organisme coordonne actuellement 50 banques de gènes réparties uniformément dans les diverses régions du monde. Le matériel génétique est conservé sous forme de semences. Celles-ci sont déshydratées et placées dans des chambres froides ou des congélateurs. Ces banques ont pour vocation de permettre d'améliorer de créer de nouvelles variétés de plantes dans le domaine de l'agriculture, de la foresterie, etc...

b-2- Banques de gènes

Ce sont des structures qui devraient abriter le patrimoine génétique de la plupart des variétés cultivées. Elles sont en général liées aux grands organismes de recherche agronomique ou aux professionnels de la production de semence. Le CIMMYT (Centre international d'amélioration du maïs et du blé), L'ICARDA (Centre international pour la recherche agricole dans les zones arides) et l'INRA (Institut national de la recherche agronomique). Ces banques génétiques sont très développées pour le matériel végétal. Dans le cas des plantes, cela peut se faire par la congélation de boutures prélevées sur la plante, ou de graines et il est possible de décongeler ce matériel génétique et de les faire se reproduire. Les techniques de conservation de matériel génétique peuvent aussi concerner la conservation de pollens qui dans des conditions convenables peuvent avoir de très longue durée de vie.

b-3- Conservatoires génétiques

La conservation en milieu contrôlé (champs, serres, jardins botaniques) concerne des organismes et non seulement des germoplasmes. Il s'agit principalement des jardins botaniques et des jardins zoologiques. Ces conservatoires jouent un rôle fondamental en permettant à tout moment d'entamer un programme de multiplication destiné à des opérations de repeuplement. Leur rôle dans le domaine de la recherche (taxonomie, génétique, acclimatation) est aussi très important. Ce type de conservation ex-situ permet de laisser les plantes conservées subir les contraintes du milieu. Elle constitue un intermédiaire entre la conservation in situ et la conservation ex-situ.

➤ **Classification des principales catégories de ressources phytogénétiques**

Les ressources génétiques végétales utilisées ou potentiellement utilisables par l'homme peuvent être classées selon les catégories suivantes :

9.1. Lignées pures

Ce sont les variétés ou cultivars commercialisés à grande échelle et qui sont, en général, obtenus par amélioration génétique et sélection généalogique. La majorité de ces variétés sont caractérisées par une productivité élevée lorsqu'elles sont cultivées dans des conditions favorables (bonne pluviométrie, irrigation, fertilisation, contrôle des adventices et des insectes par les pesticides etc...). Cependant leur productivité n'est pas stable dans le temps et dans l'espace. (apparition de nouvelles races de maladies, modification des conditions de milieu, sécheresse, etc....).

9.2. Variétés locales traditionnelles

Ce sont des variétés ou des cultivars primitifs, très anciens, cultivés et qui ont subi, au cours des Siècles une sélection naturelle ou artificielle qui a modifié l'écosystème et l'équilibre écologique dans lequel ils vivaient. Il existe une grande diversité à l'intérieur et entre ces variétés qui se sont adaptées aux conditions difficiles, ou défavorables. Leur productivité est faible mais régulière, ce qui est important dans les cas d'agriculture de subsistance.

9.3. Hybrides et lignées d'amélioration génétique

C'est le matériel issu de croisements artificiels dirigés (F1, F2, F3 etc...) obtenu par le sélectionneur, et utilisés, dans les programmes d'amélioration et de création variétale pour leurs caractères intéressants (résistance aux maladies, qualité, précocité etc...).

9.4. Autres combinaisons génétiques

Cette catégorie comprend les mutants obtenus artificiellement. Ces mutants sont conservés dans les collections des sélectionneurs afin d'être utilisés comme géniteurs.

9.5. Les espèces sauvages (ou spontanées)

A. L'utilisation directe

Ce sont les espèces sauvages que l'homme utilise mais ne sème pas et ne cultive pas. L'érosion génétique dans cette catégorie ne se produit pas au hasard. Dans ces populations naturelles, l'homme sélectionne et consomme ainsi que les animaux domestiques les plantes qui

possèdent les caractères les plus intéressants du point de vue alimentaire, domestique ou commercial.

Dans ces populations naturelles, l'homme et les animaux consomment les plantes avant la production de leurs semences et par conséquent la rupture du cycle de reproduction de la variété ou de l'espèce qui est souvent irréversible.

Les meilleurs exemples de cette "érosion génétique" sont représentés par certaines espèces forestières, fourragères à reproduction sexuée, méditerranéennes et tropicales du fait de leur exploitation abusive par l'homme et les animaux domestiques.

B. L'utilisation indirecte

Les caractères désirables peuvent être transférés aux espèces cultivées par l'intermédiaire de croisements intra-spécifiques, interspécifiques ou intergénériques.

Les exemples sont nombreux : Tomate, Pomme de terre, Tournesol, Céréales etc...

Les parents sauvages des plantes cultivées, sont en général plus rustiques et peuvent être utilisés comme géniteurs. Ceci permet d'étendre les aires de cultures marginales avec des conditions édaphiques et climatiques difficiles qui ne conviennent pas aux espèces cultivées.

C. L'utilisation potentielle

Dans cette catégorie on peut inclure les espèces à croissance très rapide pour lesquelles la crise actuelle de l'énergie ouvre de grandes perspectives d'utilisation comme productions rentables en agro-énergie.

Rentrent également dans cette catégorie des espèces sauvages de plantes médicinales ou aromatiques qui contiennent une teneur en substances médicales (principes actifs supérieur à celle des espèces utilisées couramment pour l'obtention de produits pharmaceutiques).

➤ Le pool génétique

Le concept de « pool génétique » remonte au généticien russe Aleksandr Sergeevich Serebrovskii, qui a créé le terme genofond (« fond de gènes » en français) en 1926 pour désigner l'ensemble des gènes trouvés dans un groupe d'organismes. Rapidement traduit par le terme « pool génétique », le genofond est donc une source de diversité à exploiter par les organismes pour s'adapter à un environnement en pleine mutation ou par les scientifiques pour améliorer les plantes génétiquement.

On dit que les espèces sauvages apparentées à une plante cultivée donnée sont de son pool génétique, car elles sont de variétés différentes, elles peuvent tout de même échanger des gènes avec leurs cousines cultivées. Malheureusement, toutes les espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées n'en sont pas capables. C'est la raison pour laquelle Jack Harlan et Jan de Wet ont décidé de diviser le pool génétique en trois parties distinctes, en fonction de la facilité à échanger des gènes avec les espèces cultivées auxquelles elles sont apparentées. Dans ce système, on dit que les espèces sauvages apparentées font partie du pool génétique primaire, secondaire ou tertiaire de l'espèce cultivée.

10-1- Le pool génétique primaire (PG1)

Il comprend les variétés qui peuvent être directement croisées avec la variété cultivée afin d'engendrer une progéniture abondante, forte et fertile. Par exemple, le pool génétique primaire du tournesol est composé à la fois de variétés cultivées *Helianthus annuus* et d'espèces sauvages. Les gènes de l'*Helianthus winterii* sont faciles à transférer au tournesol de culture. On pourrait même les qualifier de sous-espèces d'une même espèce.

10-2- Le pool génétique secondaire (PG2)

Il est composé d'espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées qui sont différentes des espèces cultivées, mais encore suffisamment proches pour être croisées avec l'espèce cultivée dans une certaine mesure afin de produire une progéniture fertile. Il est plus difficile d'utiliser des espèces du pool génétique secondaire, car il existe différents types d'obstacles à la reproduction entre les espèces de ce pool et les espèces cultivées. Par exemple, *Aegilops tauschii* et *Aegilops speltoides*, deux espèces sauvages du pool génétique secondaire apparentées au froment (*Triticum aestivum*), sont diploïdes. Cela signifie qu'elles possèdent des chromosomes en deux exemplaires homologues alors que le froment est hexaploïde (il en possède six exemplaires). De tels écarts sont des sources de difficulté pour les sélectionneurs. De plus, certains hybrides résultant de croisements avec des espèces du pool génétique secondaire sont en partie stériles ou tout simplement faibles.

10-3- Le pool génétique tertiaire (PG3)

Il est composé d'espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées encore plus éloignées. Le pool tertiaire nécessite des technologies de transfert de gène avancées, beaucoup plus lourdes à mettre en œuvre que dans les précédents pools. Remarquons que des méthodes classiques permettent de transférer des gènes depuis des espèces assez éloignées. C'est le cas

de la fusion de protoplastes (cellules végétales dépourvues de paroi cellulosique) développé dans les années 70 à la faculté d'Orsay. Cette technique a largement été utilisée pour transférer de l'information génétique d'espèces éloignées vers des espèces d'intérêt agronomique (Les plantes ainsi générées ne sont pas considérées comme des OGM).

➤ **Origine des plantes cultivées**

11-1- Le centre d'origine

On parle de centre d'origine pour désigner la région dans laquelle s'est effectuée la domestication d'une espèce cultivée. C'est le lieu où s'observe les formes les plus anciennes de la plante considérée, indépendamment de toute domestication. Ainsi l'origine des Blés est à rechercher parmi l'ensemble des espèces de *Triticum* et *Aegilops*. Les centres d'origine ne correspondent pas forcément aux régions dans lesquelles ces plantes sont actuellement majoritairement cultivées.

Nikolaj Vavilov est le premier chercheur à avoir pu réaliser des prospections dans la plupart des continents, et à avoir rassemblé des collections inégalées de variétés de plantes cultivées. Dès 1926, il développait au Congrès international de génétique de Berlin sa théorie des centres d'origine. Sa méthode consistait à identifier les variétés des principales espèces cultivées sur des critères morphologiques, cytologiques, génétiques, de résistance aux maladies et d'adaptation à l'environnement. Ces variétés étaient ensuite localisées sur une carte.

11-2- Le centre de diversité

Centre de diversité : c'est le lieu où l'on observe la plus grande diversité pour la plante considérée (ex du Moyen-Orient et plus précisément le "Croissant fertile" pour les Blés et apparentés).

D'après Vavilov le centre de diversité est le résultat d'une observation, tandis que le centre d'origine est le résultat d'une interprétation.

11-3- Les travaux de Vavilov

L'une des contributions majeures de l'**agronome russe Vavilov** fut d'établir une "**carte des centres d'origine des plantes cultivées**". Selon ses recherches, la plus grande diversité des espèces végétales se concentrerait dans neuf grandes régions du monde. Depuis, ses travaux ont été poursuivis et affinés, et l'on compte douze "**centres d'origine**".

Quelques exemples de centres d'origine : **La Chine** (*Citrus sinensis* l'oranger doux, *Malus communis* le pommier, *Prunus armeniaca* l'abricotier *Prunus persica* Le pêcher *Pyrus communis* Le poirier, *Camellia sinensis* Le théier, *Glycine max* Le soja). **L'Inde** (*Citrus aurantium* le bigaradier, *Citrus limon* le citronnier, *Oryza sativa* le riz, *Saccharum officinarum* la canne à sucre, *Piper nigrum* poivrier). **L'Asie centrale** (*Cicer arietinum* le pois chiche, *Lens esculenta* la lentille, *Pisum sativa* petit pois, *Vitis vinifera* la vigne). **Le Proche-Orient** (*Triticum aestivum* le blé tendre, *Triticum durum* blé dur, *Hordeum vulgare* l'orge à deux rangs, *Cucumis melo* le melon, *Amygdalus communis* l'amandier, *Ficus carica* le figuier). **La méditerranée** (*Olea europaea* l'olivier, *Lactuca sativa* la laitue). **L'abyssinie** (*Coffea arabica* le caféier). **L'Amérique centrale** (*Zea mays* le maïs, *Phaseolus vulgaris* le haricot, *Cucurbita sp* les courges). **Amérique du Sud** (*Arachis hypogaea* l'Arachide, *Solanum andigenum* la Pomme de terre, *Lycopersicon esculentum* la Tomate).

Dans sa conquête de nouveaux territoires, l'homme, longtemps nomade, n'a cessé de disperser les espèces végétales ou animales à partir de leurs lieux d'origine. Ainsi, au néolithique, des espèces domestiquées comme l'orge, les lentilles, les pois ont été peu à peu diffusées du Proche-Orient vers le monde entier.

Exemple : À Rome, des plantes utiles à l'alimentation étaient prélevées dans les pays vaincus, puis acclimatées. Elles figuraient parmi les prises de guerre, au même titre que d'autres trésors.

Peu à peu, les espèces introduites dans de nouvelles régions ont créé à leur tour de la diversité génétique.

➤ **Les flux de gènes**

Le terme de “flux de gènes” (ou “flux génique” ; en anglais gene flow) est généralement employé pour désigner le passage efficace de gènes d'une population dans une autre. Il peut également s'appliquer aux échanges de gènes entre individus au sein d'une même population. Les flux géniques ont généralement lieu au sein d'une même espèce, bien que différents exemples de flux de gènes interspécifiques existent. Dans tous ces cas, ils jouent un rôle majeur dans l'organisation spatiale de la diversité génétique et représentent à ce titre une force évolutive importante.

L'étude des modalités de flux géniques chez les plantes cultivées est relativement récente et concerne principalement i) la détermination de la distance minimale à respecter entre champs cultivés pour éviter que leurs plantes n'échangent du pollen et ii) l'analyse des possibilités de

flux de gènes depuis les champs cultivés vers les formes sauvages apparentées, présentes dans le milieu naturel. Au cours des dernières années, ces études se sont intensifiées pour évaluer les risques liés à la culture de plantes transgéniques.

➤ **Autogamie ou allogamie**

Le système de reproduction d'une espèce est un paramètre important à considérer lorsque l'on s'intéresse aux flux de gènes. Chez une espèce allogame, le pollen et les graines vont participer à la dispersion des gènes au sein de la population. A l'inverse, chez une espèce présentant un fort taux d'autofécondation, on peut penser que la dispersion efficace résulte principalement de la dispersion des graines. Néanmoins, la plupart des espèces sont au moins partiellement allogames, et même les espèces considérées comme très autogames présentent des taux d'allogamie résiduelle. C'est le cas pour le blé, allogame dans 1 à 5% des cas. Ce résidu d'allogamie peut jouer un rôle important sur l'organisation de la diversité. A l'inverse, chez les espèces allogames, le taux d'allogamie varie suivant l'espèce et les conditions de pollinisation, en particulier le climat et la disponibilité en pollinisateurs.

➤ **Flux de gènes par le pollen**

L'importance des flux de gènes par pollinisation dépend bien évidemment de la distance spatiale qui sépare les individus donneurs et récepteurs de pollen. Chez la plupart des espèces végétales étudiées, il apparaît que la majorité du pollen est dispersée à proximité immédiate de la plante source (de l'ordre de 1 à 15 mètres selon les espèces) et que les événements à plus longue distance (entre 50 et 1 000 mètres, ou plus) sont rares par rapport aux premiers. Un autre paramètre important de la pollinisation est le mode de transport du pollen. Deux vecteurs de pollen principaux existent chez les plantes : le vent, on parle alors de dispersion anémophile, et les insectes, caractérisant la dispersion entomophile. Ces vecteurs sont associés à des types de pollen différents. En effet, les grains de pollen des plantes anémophiles sont légers, secs et de petite dimension (d'un diamètre compris entre 15 et 50 μ). Ils sont transportés par petits groupes ou individuellement. En revanche, les grains de pollen des plantes entomophiles sont souvent de grande taille (d'un diamètre compris entre 3 et 200 μ), lourds et ont tendance à s'agglomérer. Leur enveloppe externe, l'exine, renferme des composants biochimiques qui facilitent leur adhérence au corps des insectes. La pollinisation par le vent concerne environ 10% des espèces des plantes à graines dont d'importantes espèces agricoles comme les graminées allogames (maïs, seigle, graminées prairiales). Les grains de pollen de certaines plantes anémophiles peuvent parcourir plusieurs centaines de kilomètres. La pollinisation entomophile est

essentiellement due aux insectes de l'ordre des hyménoptères, et en particulier les aculéates (ou porte-aiguillon) incluant les abeilles, les guêpes et les bourdons. A elles seules, les abeilles assurent la pollinisation de plus de 50% des espèces entomophiles.

➤ Flux de gènes par les graines

Alors que la dispersion du pollen se fait uniquement dans l'espace, la dispersion des graines autorise une dimension supplémentaire : le temps. Les graines peuvent en effet survivre dans le sol où elles constituent un réservoir de gènes susceptibles de s'exprimer après plusieurs années. Ainsi, des graines de colza peuvent survivre jusqu'à 10 ans dans le sol et donner ultérieurement des repousses. Comme dans le cas du pollen, des mécanismes particuliers ont été mis en place : graines ou fruits ailés permettant une dispersion par le vent, présence d'épines sur les fruits permettant un transport par les animaux.

II. Bases génétiques de l'évolution des plantes cultivées

1- La polyploïdie

1-1- Définition et mécanismes d'obtention des polyploïdes

Plus de la moitié des végétaux supérieurs sont des polyploïdes, notamment chez les espèces pérennes et chez les formes domestiquées. C'est une amélioration génétique des plantes par modification quantitative du génotype. La modification quantitative du génotype concerne la polyploïdie et l'haploïdie.

1-2- L'intérêt de la polyploïdie est double:

- Amélioration quantitative du rendement
- Restauration de la fertilité des hybrides interspécifiques

Exemple : Le génome (x) correspond au nombre chromosomique de base, un ensemble complet de chromosomes hérités d'un parent en tant qu'unité. Dans chaque génome, chaque chromosome est représenté une fois.

- Nombre somatique de chromosomes: $2n$
- Nombre gamétique de chromosomes: n
- nombre de base de chromosomes ou génome: x

Trois espèces d'avoine :

| Espèce | 2n | n | x | Niveau de ploïdie |
|-----------------------|----------|----|---|-------------------|
| <i>Avena strigosa</i> | 2n=14=x | 7 | 7 | Diploïde |
| <i>Avena barbata</i> | 2n=28=4x | 14 | 7 | Tétraploïde |
| <i>Avena sativa</i> | 2n=42=6x | 21 | 7 | Hexaploïde |

1-3- Autopolyploïdie et Allopolyploïdie.

A- Autopolyploïdie ou Autoploïdie:

Duplication des chromosomes d'une même espèce (même génome). Elle se produit 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).

- **But:** dupliquer artificiellement les chromosomes d'une plante, afin d'obtenir une augmentation de rendement.

Caractéristiques : (= gigantisme)

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

Cependant:

- Il y'a réduction de la fertilité ce qui entraîne une faible production de semences, due à des désordres dans la formation des grains de pollen.

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

Exemples de plantes autopolyploïdes:

- Pomme de terre : $4x$, 48 chromosomes (tétraploïde)
- Cacahuète: $4x$, 40 chromosomes (tétraploïde)
- Patate douce: $6x$, 90 chromosomes (hexaploïde)

B- Allopolyploïdie (ou Alloploïdie):

C'est une polyploïdie résultant de l'hybridation de deux espèces proches

- But: rendre fertile des hybrides inter-spécifiques, afin de combiner leurs propriétés.
- Exemple d'allopolyploïdes naturels : cas du Blé dur, avoine et blé tendre (6x – 42 chromosomes, hexaploïdes)
- Exemples d'allopolyploïdes induits : cas des triticales.

Triticale : Blé X Seigle (RR)

- Croisement avec blé dur et blé tendre

Caractéristiques des alloploïdes :

- comme pour les autopolloïdes, caractéristiques de gigantisme. Augmentation de volume pour les tiges, racines, feuilles, etc.
- cependant, les alloploïdes n'ont pas de problèmes de stérilité ;

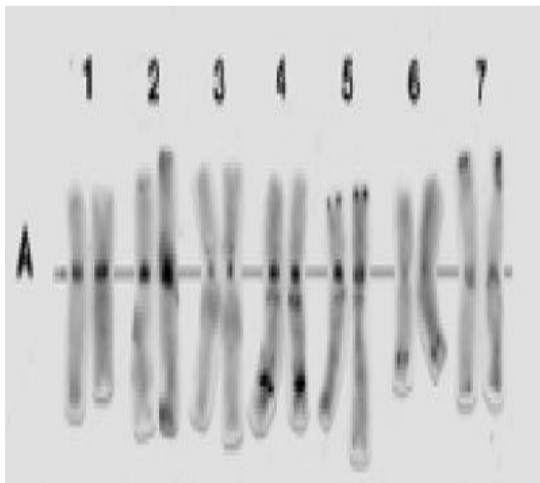
➤ **Alloploïdie et amélioration des plantes :**

- Identification d'origine génétique des esp. Polyploïdes (exp. blé)
- Faciliter le transfert de gènes d'espèces apparentées
- Produire des génotypes et espèces nouvelles, exp. triticales.

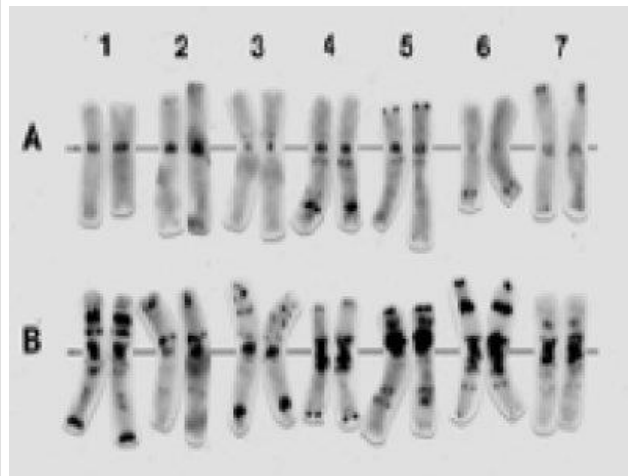
Cas du blé :

Le blé appartient à la famille des graminées (Poaceae), qui comprend plus 10000 espèces différentes. Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum*. Ces espèces se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42). Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops speltoides* et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*). Le croisement naturel *T. monococcum* × *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum ssp. dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. durum* (blé dur cultivé). Des restes de types primitifs de *T. turgidum* cultivé (l'amidonnier, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été datés d'environ 8000 avant J-C. Le croisement entre l'espèce *T. durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *T. aestivum* de constitution génomique AABBDD.

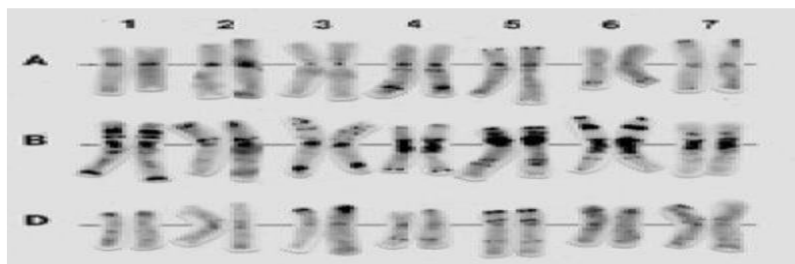
Des observations cytologiques plus fines, réalisées afin de classer les chromosomes des 3 espèces ont conduit à établir les 3 caryotypes suivants :



Triticum monococcum



Triticum turgidum



Triticum aestivum

Les chromosomes apparentés des différents génomes montrent peu d'affinité les uns avec les autres et ne s'associent pas régulièrement chez les hybrides interspécifiques, de sorte qu'il en résulte une stérilité complète. La fertilité est obtenue après le doublement des chromosomes. Ces chromosomes sont qualifiés d'homéologues et l'on parle de groupes d'homologie (au nombre de 7). Durant la méiose, les homéologues ne peuvent normalement pas être appariés suite à l'action de gènes inhibiteurs. Parmi ces gènes figure le gène Ph1 (pairing homeologous 1) situé sur le bras long du chromosome 5B.

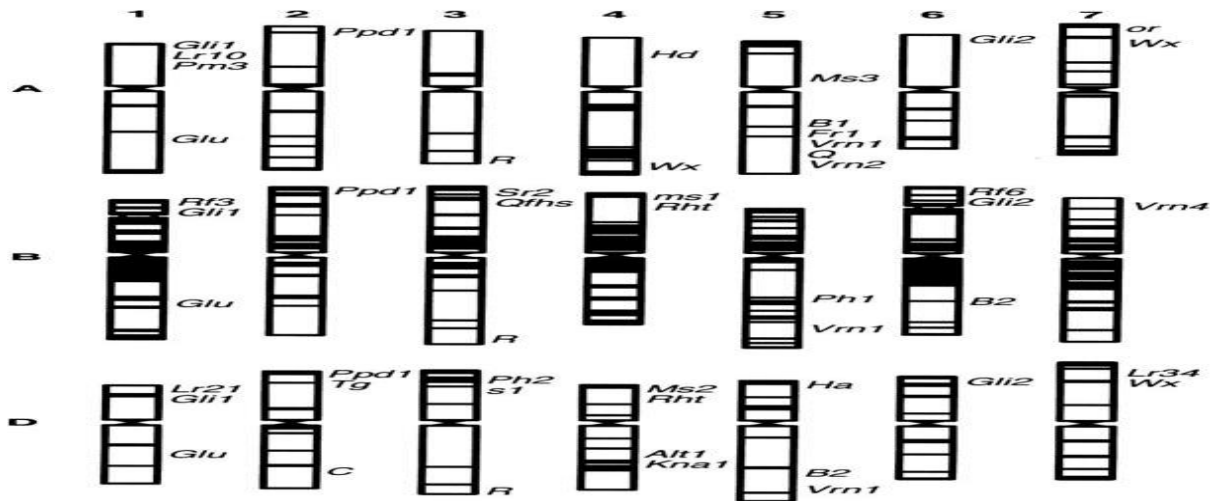


Figure. Localisation sur les chromosomes des gènes de gluten (Gli et Glu), de la couleur des grains (R), de la texture (Ha), de la composition de l'amidon (Wx), de la photopériode (Ppd), de la vernalisation (Vrn), de la résistance aux rouilles (Sr2 et Lr34), de la stérilité mâle (ms, Ms), restaurateurs de fertilité (Rf), de l'appariement entre homéologues (Ph1 et Ph2) et de résistance aux stress abiotiques (Alt1, Fr, Kna).