

SELECTION POUR LA RESISTANCE AUX MALADIES ET AUX INSECTES

La défense contre les pathogènes peut être considérée probablement comme le problème principal dans la production de nos cultures . Les maladies et les insectes des plantes ne réduisent pas seulement les rendements mais peuvent affecter la stabilité de la production d'une année à l'autre. A côté des applications des fongicides et des pesticides pour la protection des plantes sensibles, la résistance génétique reste de loin la principale arme contre la vulnérabilité des cultures.

Une fois les objectifs bien définis, l'étape principale suivante dans un programme d'amélioration des plantes pour la résistance aux pathogènes est l'identification d'une source de résistance appropriée. Nous allons passer en revue les sources de résistance potentielles dans l'ordre croissant de complication et de difficulté pour l'amélioration.

SOURCES DE RESISTANCE CONVENTIONNELLES :

La variation génotypique pour les sources de résistance doit être étudiée dans l'espèce botanique de la culture tout d'abord, puis dans les espèces apparentées ensuite.

1 – Le Cultivar lui même :

La variation génétique pour la résistance dans un cultivar peut être suffisante dans une culture allogame. Les plantes autogames sont presque toujours génétiquement très uniformes pour permettre de faire une sélection significative.

2 – Les Cultivars Commerciaux :

La résistance peut être dérivée à partir d'autre cultivars améliorés ou de lignées avancées. L'avantage est que ce matériel a déjà une constitution génétique renfermant des gènes pour un rendement élevé, pour la qualité et pour la résistance à d'autres pathogènes. Si les variétés améliorées d'autres pays étrangers sont utilisées, leur constitution génétique pourrait contenir des propriétés indésirables, par exemple une réponse à la photopériode inadéquate.

3 – Autres Formes de la Culture :

Dans un certain nombre de culture, différentes formes peuvent constituer des pools génétiques distincts, exemple le blé d'hiver et le blé printemps ; le maïs, le pop-corn et le sweet corn ; l'orge à deux rangs et l'orge à six rangs. Il est possible qu'une forme à des gènes de résistance qui ne sont pas présents dans l'autre forme.

4 – Les écotypes locaux ou les anciens cultivars localement cultivés :

Les populations locales sont des populations adaptées, principalement par la sélection naturelle, l'environnement naturel et social où elles sont utilisées. Ils consistent généralement en un mélange de génotypes variés. L'importance de leur valeur est dans leur diversité génétique entre sites, spécialement dans les zones de diversité écologique, ethnique et culturelle, et à l'intérieur même des ces populations.

Il est important de savoir que ces écotypes ont contribué significativement par les sources de résistance mises à la disposition des sélectionneurs dans le passé et aujourd'hui.

Une grande variabilité génétique potentiellement utile est souvent perdue avec la disparition de ces variétés locales. Par exemple, la seule source de résistance pour la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV) a été trouvée en 1963 dans le matériel originaire d'Éthiopie (Qualset, 1975). Jusqu'à présent seulement un gène a été trouvé et semble conférer une résistance efficace là où il est introduit.

Les sources de résistance ont été trouvées dans les pays où la maladie ou l'insecte est endémique et où il y a une grande diversité variétale. Dans le cas où une collecte extensive de populations locales a été conduite dans les régions où un parasite particulier est endémique, le triage pour la résistance à ce parasite est généralement trouvé sans difficulté.

5 – Bibliographie et Correspondance :

En fait, le plus souvent on se procure les géniteurs de résistance en tirant partie du travail réalisé par d'autres chercheurs : on relève dans les articles signalant des variétés résistantes à tel insecte ou à telle maladie, et on écrit pour se procurer des graines à partir de personnes, d'Instituts ou de Centres Internationaux étrangers.

6 – Centres d'origine et de Diversité :

Lorsque la recherche locale de géniteurs de résistance et la bibliographie se sont révélées infructueuses, il est souvent payant d'aller chercher des gènes de résistance dans les **Centre d'origine** (habitat naturel de la plante) ou de diversification de l'espèce cultivée.

Dans le **centre de diversification** de la culture, le parasite et son hôte ont vécu longtemps ensemble et ont probablement co-évolué (Watson, 1970), résultant dans une grande variabilité pour la résistance de la plante et dans la pathogénécité (capacité parasitique) du parasite. Les habitants de ces zones au relief souvent difficile pratiquent une agriculture de subsistance (ou biologique imposée) et obtiennent des récoltes modestes, mais régulières, avec des plantes cultivées coexistant avec leurs parasites. Le mélange cultivé (variété composée) comprend une minorité de plantes hautement résistantes, le reste étant composé de plantes moyennement résistantes, et des plantes sensibles subsistant grâce à la dilution de l'épidémie par leurs voisines. Le Moyen Orient, par exemple, est particulièrement riche en source de résistance pour la rouille et l'oïdium des céréales. Les blés, les orges et les avoines cultivées ont pour origine les formes sauvages poussant dans cette région. Pour plusieurs cultures, incluant la plupart des céréales et leurs rouilles, les centres de diversité des parents ancestraux et des parasites important coïncident. La non coïncidence peut être due à plusieurs causes, telle que l'absence d'un hôte alternatif nécessaire à la reproduction sexuelle.

7 – Les Espèces Proches (Apparentées) :

Elles peuvent être utilisées dans les croisements quand la résistance recherchée n'est pas trouvée dans l'espèce de la culture. Les croisements avec les formes sauvages apparentées, *T. aegilops* sont possibles et des gènes de résistance ont été transférés au blé. L'intérêt principal des ancêtres et espèces apparentées de la culture réside dans leur richesse en gènes de résistance particulièrement là où les sources de résistance dans l'espèce ont été épuisées, cas de la rouille couronnée de l'avoine où la résistance a été trouvée dans *Avena Sterilis* (Murphy et al ; , 1967) ou bien dans le cas où la résistance n'est trouvée que dans les parents sauvages, cas de la rouille et du mildiou du tournesol.

8 – Les Genres Proches (Apparentées) :

Dans certains cas, la résistance peut être introduite à partir de genres proches. La résistance à l'oïdium et aux trois rouilles a été transférée à partir du seigle (*Secale*) et du blé fourragé (*Agropyron*) dans le blé (*Triticum*). Cette méthode est techniquement très difficile et la résistance n'apparaît pas plus durable que celle présente dans le blé lui-même (Roelfs, 1988).

LES ALTERNATIVES POSSIBLES POUR OBTENIR LA RESISTANCE :

1 – Les Mutations :

Un traitement muta génique peut convertir un génotype sensible en un génotype résistant. Si la mutation est en un point, le mutant résistant sera identique au cultivar d'origine à l'exception de la résistance. Cependant, des effets secondaires indésirables du traitement muta génique sont souvent observés. Plusieurs autres gènes pourraient aussi subir des changements, ou bien la mutation peut avoir des effets pléiotropiques indésirables. Et comme conséquence, la sélection du mutant résistant doit être suivie par des efforts d'amélioration pour produire un cultivar commercial acceptable.

Dans l'orge, il a été relativement aisé d'induire des mutations pour la résistance à l'oïdium. Cette résistance a été toujours localisée au locus M1-0 sur le chromosome 4. Les mutants ont toujours un rendement moindre par rapport à la variété originale, probablement à cause des nécroses spontanées en absence du pathogène (Jorgensen, 1983).

2 – Manipulations Génétiques :

La régénération de plantes à partir de **cals**, de cellules isolées pourvues de leurs paroi ou ayant passé par l'état de **protoplaste** présente parfois une variabilité (**somaclonal variation**) bien supérieure à celle d'un clone ou d'une lignée perpétuée par la voie naturelle (Barbier et Dulieu, 1980).

Gengenbach (1975) a cultivé des cals issues de scutellum de grains de Maïs cytoplasme T. sur des concentrations croissantes de filtrat de culture *d'Helminthosporium maydis* race T. Ces cals soumis au processus de régénération ont donné des plantes résistantes *l'Helminthosporium*. La fusion de protoplastes permet de réaliser des hybridations dites **somatiques** qui ont l'avantage d'être indépendantes des barrières d'incompatibilité sexuelle intraspécifiques ou interspécifique et d'être réalisables entre individus chez lesquels la reproduction sexuelle est faible ou nulle.

Les techniques de **génétique moléculaire** pourraient permettre le transfert de gènes individuels isolés à partir de n'importe quel organisme aux plantes par **transformation** (absorption par le génome d'ADN étranger) ou par **transduction** (apport d'information génétique par un virus). Les plantes des espèces monocotylédones sont plus difficiles à transformer que les espèces dicotylédones.

La limitation sérieuse dans la manipulation génétique est la difficulté à localiser les gènes spécifiques utiles (gènes de résistance) dans l'organisme donneur.

Jusqu'à présent, la recherche pour les gènes de résistances aux pathogènes n'a pas eu beaucoup de succès. La seule technique réaliste est le transfert d'information génétique par le TIP (tumor inducing plasmid) *d'Agrobacterium tumefaciens* proposé par Shell (1978). Cependant cette bactérie n'infecte que les dicotylédones et pas les monocotylédones. Les plantes de dicots régénérées à partir de tumeurs induites par des *A. tumefaciens* à plasmide manipulé ne seraient cependant utilisables qu'à l'état de clones, car le TIP n'est pas transmis par la graine.

Tout espoir est-il perdu lorsqu'on ne trouve pas de géniteur de résistances ?

Tout ce qu'on peut espérer c'est d'essayer de réunir dans un seul génotype un certain nombre de gènes à effets additifs, dont l'ensemble induira une résistance appréciable, à partir de plusieurs parents chez lesquels ces gènes, présents isolément, n'exercent qu'un effet négligeable et pour cela on aura recours à la **sélection récurrente**.

Gènes de résistance connus pour certains parasites obligatoires du blé (McIntosh, 1979)

Pathogène	N° de gènes connus
Puccinia graminis tritici	30
Puccinia recondita	25
Puccinia striiformis	10
Erysiphe graminis	7
Tilletia sp.	10

METHODES DE SELECTION DE VARIETES POUR LA RESISTANCE SPECIFIQUE AUX MALADIES.

L'emploi des méthodes générales de sélection de cultivars à résistance améliorée vis-à-vis des parasites, dépendra du type autogame ou allogame des plantes à améliorer et de l'héritabilité du caractère sélectionné. La résistance verticale s'exprime de façon nette, à l'instar des caractères quantitatifs, pour autant que les conditions expérimentales des tests permettent le développement de l'infection.

Sélection pour la résistance chez les plantes autogames comme les blés.

L'objectif de la sélection sera la production de cultivars résistants qui peuvent être des lignées pures, des multilignées ou des variétés hybrides F1. Des lignées pures, résistantes à un ou plusieurs pathotypes d'un ou plusieurs agents pathogènes peuvent être produites notamment par **sélection massale**, **sélection généalogique** ou par **rétrocroisement**.

* Production de Multilignées.

JENSEN envisagea le premier l'utilisation d'un mélange de diverses variétés de caractéristiques similaires, mais portant chacune un gène de résistance spécifique à un pathotype déterminé. BORLAUG, dans un système similaire, propose le remplacement des variétés phénotypiquement similaires, par des lignées génotypiquement semblables, au gène de résistance près, dénommées **isolignées**. Les isolignées sont produites par introduction, par rétrocroisement, de gènes spécifiques pour la résistance aux maladies, dans une variété unique.

La variété multilignée est constituée d'un mélange proportionnel de semences des isolignées composantes dont le nombre dépend du nombre de pathotypes du pathogène présent dans l'inoculum régional.

La production d'une telle " variété multilignée " impose les étapes suivantes :

- Choisir un cultivar de grande valeur : **V** ;
- Disposer de 5 cultivars possédant chacun une résistance
Vis-à-vis d'un pathotype différent du pathogène : **A, B, C, D, E** ;
- Réaliser simultanément les croisements **VxA, VxB, VxC, VxD, VxE** ;
- Rétrocroiser chaque hybride avec le cultivar **V** et procéder à autant de rétrocroisements que nécessaire pour pouvoir sélectionner 5 lignées phénotypiquement semblables entre elles et au cultivar de départ, mais porteuses chacune d'un gène de résistance spécifique différent.

Un exemple de multilignée de blé tendre pour la résistance à la rouille jaune et constitué de 8 isolignées dénommé " 8156 " a été beaucoup utilisé dans les programmes de recherche dans le monde et particulièrement dans les pays du Maghreb.

Si la multilignée offre des avantages épidémiologiques (de par la diversité de ses gènes de résistance) et agronomiques (de par la similitude agronomique des composantes), elle présente toutefois des difficultés de réalisation. La méthodologie de production par rétrocroisement demande beaucoup de temps et dans l'intervalle, le cultivar peu avoir été déclassé par un autre plus productif. D'autre part, si la multilignée fournit une protection efficace la maladie cible, elle n'apporte pas de protection particulière contre d'autres affections.

*** Production de Variétés Hybrides F1**

Une variété hybride F1 consiste en semences récoltées sur une lignée pure productrice d'ovules, fécondées par une autre lignée pure productrice de pollen. Cela implique, chez les espèces autogames, la castration manuelle ou chimique d'une lignée parentale ou l'utilisation d'une lignée génétiquement androstérile (mâle stérile).

Les étapes d'un programme de production de variété hybrides sont les suivantes :

- Rechercher de bons cultivars porteurs de résistance diverses ;
- Détermination, par croisement diallèle, de partenaires possédant une bonne aptitude à la combinaison exprimée par une production élevée des hybrides ;
- Choix de partenaires possédant une aptitude à la combinaison élevée et des caractères de résistance complémentaires ;
- Association de partenaires dans un champ de production, selon un programme établi par l'institution productrice.

*** Pyramidisation des gènes de résistance**

Le principe de la pyramidisation des gènes de résistance dans une lignée est simple. La méthode consiste à incorporer, dans une même lignée, des gènes de résistance à partir de différentes origines. Il faut noter, cependant, que ce processus est très long car l'incorporation des gènes de résistance se fait par étapes successives. Une fois qu'un gène est transféré à partir d'une origine, la lignée résultante est croisée avec une autre origine et ainsi de suite.

*** Sélection stabilisatrice**

La sélection stabilisatrice vise à incorporer une résistance contre les gènes de virulence qui n'ont pas été encore détectés chez l'agent pathogène. Ce principe suppose que lorsque le nombre de gènes de virulence (non nécessaires) que la pathogène possède est important, celui-ci sera moins adapté.

Comparaison entre la résistance monogénique et la résistance polygénique

De nos jours, les sélectionneurs ont tendance à utiliser la résistance polygénique. Toutefois, le temps nécessaire pour le développement des variétés par une telle méthode est long par rapport à celui de l'incorporation de gènes majeurs de résistance. En amélioration des plantes, le facteur temps est très important. Les durées de vie moyennes de cultivars sont relativement courtes (5 à 10 ans). La sensibilité aux maladies joue un rôle important dans la limitation de cette durée de vie mais ce n'est pas le seul facteur. Parfois on change de variétés parce que le niveau technologique de la production a changé. Si les facteurs qui obligent l'agriculteur à changer de variété ne sont pas d'ordre purement pathologique, il est préférable pour le sélectionneur de ne pas investir tout son temps à développer des variétés à résistance polygénique. Des résistances monogéniques seront aussi rentables. Un autre argument contre l'utilisation exclusive des résistances polygéniques (gènes à effets mineurs) est qu'il existe des cas où des gènes majeurs (résistance monogénique) ont effectivement assuré une protection durable contre certaines maladies.

1. SELECTION POUR LA STABILITE :

Les changements dans les conditions environnementales entraînent souvent des fluctuations du rendement d'une variété donnée. La présence de maladies, des insectes, la sécheresse, le froid, les températures élevées, la longueur du jour, ect... peuvent affecter le niveau de production d'un cultivar. L'un des objectifs du sélectionneur est le développement de variétés qui minimisent les effets des fluctuations dans les conditions de l'environnement. Dans ce chapitre, deux aspects de stabilité seront considérés ; la résistance aux facteurs biologiques (maladies cryptogamiques et insectes) et la tolérance aux stress physiques.

1.1. Résistance aux Maladies :

Plusieurs types d'organismes peuvent être à l'origine des maladies. Parmi ceux-ci on peut citer les champignons, les virus et les bactéries. Ces micro-organismes attaquent presque toutes les espèces cultivées, provoquant ainsi différents types de dégâts.

L'un des effets de maladies est la réduction de la biomasse totale et, par suite, le rendement. L'importance des pertes de rendements varie d'une année à l'autre selon les facteurs climatiques et les types de variétés utilisées. Pendant les années normales, les pertes de rendement sont estimées à 10-25 % ou parfois même moins. Par contre, durant certaines années, des épidémies peuvent se développer causant ainsi la destruction totale des variétés sensibles.

Deux méthodes de lutte contre les maladies sont disponibles :

- 1. La lutte phytosanitaire
- 2. La résistance variétale

La lutte phytosanitaire consiste à éliminer ou réduire des effets des agents pathogènes par des pratiques culturales telles que la rotation, l'éradication de l'hôte alternatif (exemple de la rouille noire de blé aux Etats-Unis), l'élimination des débris végétaux hébergeant l'agent pathogène, etc... et par des traitements chimiques (fongicides) ou physiques (traitement des semences par de l'eau chaude par exemple). Toutes ces opérations coûtent relativement cher à l'agriculteur, à l'inverse de l'utilisation de variétés résistantes. Il est à noter que ni les méthodes de lutte phytosanitaire, ni la résistance variétale ne sont capables de protéger les cultures contre toutes les maladies.

Parfois il est nécessaire de combiner les deux méthodes (lutte intégrée).

1.1.1. Nature de la résistance aux maladies

Par nature de la résistance aux maladies, nous entendons l'ensemble des mécanismes par lesquelles les plantes luttent contre l'attaque des agents pathogènes. Quatre mécanismes sont utilisés par les plantes à cette fin :

- 1. Le mécanisme de l'esquive (les plantes échappent aux maladies) ;
- 2. La tolérance ;
- 3. L'hypersensibilité ;
- 4. La résistance.

Le mécanisme de l'esquive se traduit par une résistance apparente qui résulte d'un décalage entre la période du développement de l'agent pathogène et celle caractérisée par la sensibilité maximale de l'hôte. Une croissance rapide et une maturité précoce peuvent aider la plante sensible à échapper à l'attaque parasitaire surtout pour les maladies qui se développent tardivement dans la saison

La tolérance est la capacité des plantes à supporter l'invasion des agents pathogènes sans conséquences importantes. Les plantes tolérantes sont capables de se développer malgré la présence parasitaire.

L'hypersensibilité se traduit par une mort brutale des cellules de la plante attaquée là où le pathogène a essayé de pénétrer dans le tissu. Une zone nécrotique localisée se forme et arrête le développement de la maladie. Ce mécanisme de résistance a été observé dans le cas de la rouille jaune des céréales.

La résistance est le mécanisme par lequel les plantes peuvent s'opposer à (ou surmonter) l'attaque des agents pathogènes. Elle est hautement variable et peut aller de la sensibilité totale à l'immunité (résistance complète). Une plante peut être plus ou moins sensible ou plus ou moins résistante mais jamais plus moins immune (elle est soit immune soit non immune). L'origine de la résistance peut être d'ordre anatomique (épaisseur des téguments, fermeture des stomates, etc...), ou peut résulter de la production par l'hôte de substances inhibitrices empêchant le développement de la maladie.

La résistance aux maladies dépend de deux facteurs :

- 1. L'environnement
- 2. Le génotype de la plante

L'environnement peut assurer qu'une résistance temporaire (esquive, tolérance) alors que le génotype de la plante lui donne des éléments durables de résistance (morphologie, anatomie, physiologie, facteurs protoplasmiques, etc.).

1.1.2. Génétique de la résistance

Contrairement aux autres caractères de la plante (maturité, rendement, hauteur, etc.), la résistance aux maladies constitue un facteur à deux dimensions. Dans la sélection pour la résistance, il faut tenir compte des rapports plante hôte/agent pathogène. Comme la plante hôte peut présenter différentes combinaisons génotypiques, les agents pathogènes sont aussi capables de présenter différentes combinaisons génotypiques. Un deuxième niveau de difficultés résulte de l'énorme variabilité du parasite qui peut se présenter sous formes de différentes races (races physiologiques). La plupart des champignons présentent une grande diversité de races qui ne peuvent être identifiées que par l'utilisation de variétés étalons. Avec n variétés étalons, on peut identifier $2n$ races différentes. A ces difficultés vient s'ajouter le comportement des plantes vis-à-vis des parasites. Ce comportement est variable selon le stade de développement de la plante (stade jeune, stade adulte).

La génétique de la résistance varie selon les espèces végétales et le type de maladie. Dans certains cas, la résistance est dominante. Dans d'autres cas, elle récessive. Chez certaines plantes et pour certaines maladies, la résistance est conditionnée par un seul gène (résistance monogénique) : chez d'autres, elle résulte de l'interaction de plusieurs gènes (résistance polygénique).

Un autre problème posé est le fait que les gènes contrôlant la résistance peuvent être étroitement liés à d'autres gènes gouvernant des caractères ayant des valeurs agronomiques inférieures. Ceci constitue un handicap dans la production de variétés résistantes, productives et de bonne qualité. Il est à noter aussi que des variétés, résistantes à une maladie dans une localité, peuvent être sensibles à la même maladie dans une autre localité ayant des conditions climatiques différentes (les races physiologiques du pathogène peuvent être également différentes).

La génétique de l'interaction plante hôte/agent pathogène est assez complexe et ne sera pas traitée en détail dans cet ouvrage. Une forme simplifiée de la génétique de cette interaction, basée sur les travaux de FLOR, sera cependant ici, FLOR a travaillé sur la rouille de lin et a développé le concept du gène - pour gène. Il a démontré que la résistance à la rouille chez le lin est contrôlée par des allèles multiples à cinq loci différents. Ces loci ont été désignés par K, L, M, N et P. deux allèles seulement sont connus pour le locus K mais onze pour le locus L, six pour le locus M, trois pour le locus N et quatre pour le locus O. La résistance à la rouille du lin est dominante sauf dans quelques cas pour lesquels la dominance n'est pas complète. La virulence de l'agent pathogène, avec une seule exception, est récessive. Pour illustrer la relation gène - pour gène de FLOR, prenons un exemple simple où la plante peut être soit résistante (génotype PP) soit sensible (pp) et où l'agent pathogène peut être soit avirulent (AA) soit virulent (aa). Dans ce cas, la résistance de l'hôte est dominante et la virulence de l'agent pathogène est récessive. La résistance ou la sensibilité (apparente) de la plante hôte dépendra de sa résistance ou sensibilité (vraies) et de la virulence ou l'avirulence de l'agent pathogène. On aura les situations présentées dans le tableau suivant.

Relation gène – pour – gène dans le cas de la résistance aux maladies

Génotype pour		Réaction de l'hôte
Résistance/Sensibilité De l'hôte	A virulence/Virulence du pathogène	
P -	AP -	Résistance
pp	AP -	Sensibilité
P -	aP aP	Sensibilité
pp	aP aP	Sensibilité

Il y a attaque par l'agent pathogène lorsque la plante hôte est sensible ou lorsque l'agent pathogène est virulent. Remarquons que le gène d'a virulence est noté AP. Ceci pour désigner que l'hôte et l'agent pathogène ont évolué ensemble et qu'à chaque gène de résistance ou de sensibilité chez l'hôte correspond un gène de virulence ou d'a virulence chez l'agent pathogène. Depuis que FLOR a formulé l'hypothèse du gène – pour – gène chez le lin, des interactions similaires sont mises en évidence chez d'autres espèces végétales.

La résistance peut être classée en résistance ou en résistance spécifique (résistance horizontale ou résistance verticale dans la terminologie de VAN DER PLANK). Du point de vue génétique, on peut avoir une résistance monogénique (gènes à effets majeurs) ou une résistance polygénique –gènes à effets mineurs). La stratégie adoptée par le sélectionneur pour la sélection de la résistance dépendra des types disponibles de résistances et de la maladie en question. Les gènes à effets majeurs sont utilisés dans le contrôle de la résistance des plantes à une large gamme de champignons. Dans la plupart de programmes de sélection, la résistance monogénique est employée en premier lieu surtout quand il y a un besoin urgent de développement de variétés résistantes.

La résistance générale a été définie par certains comme étant “ durable ” ou “ stable ”. Ce type de résistance n'est pas toujours polygénique, mais c'est souvent le cas. En principe, la résistance spécifique (résistance associée à un locus spécifique de virulence/a virulence chez le pathogène) peut être également polygénéiquement contrôlée. Elle peut être aussi durable. La résistance générale empêche un développement rapide de la maladie.

1.2. Résistance à d'autres stress de l'environnement

L'augmentation de la production agricole résulte d'une augmentation soit de la production par unité de surface (rendement) soit de la superficie cultivée. Pour la plupart des pays, l'augmentation de la superficie cultivée ne peut se faire que si l'on fait appel à des zones marginales. Généralement, ces zones présentent des problèmes chroniques d'acidité, d'aridité, de salinité, de rendement, de températures basses ou élevées, de déficience ou de toxicité minérale, etc. La sélection pour la résistance ou la tolérance à ces conditions hostiles de l'environnement permet d'augmenter et de stabiliser la production. Différentes approches sont utilisées sélectionner pour la résistance ou la tolérance aux effets du stress de l'environnement.

1.3 *Sélection indirecte pour la résistance aux stress*

La sélection pour le rendement dans des conditions variables de l'environnement peut permettre une forme de sélection indirecte pour la résistance aux différents stress se produisant dans les sites de sélection durant la saison de culture de la plante sélectionnée. Les lignées qui présentent une bonne performance sont généralement qui résistent ou tolèrent les stress qui ont sévi durant la sélection. Pour fixer les idées, la sélection des hybrides de maïs dans des conditions de fortes densités de semis a donné des hybrides qui produisent des rendements supérieurs, indiquant ainsi leur tolérance à l'encombrement. Ces hybrides ont montré une bonne stabilité de production dans différents milieux.

1.3.1 *Sélection directe pour la résistance aux stress*

Une autre approche de sélection pour la résistance aux différents stress consiste à choisir les endroits où le test doit être fait. Le sélectionneur doit soigneusement choisir le lieu où le facteur de stress permet d'identifier les génotypes résistants ou tolérants. Les génotypes sensibles sont éliminés. Un exemple de cette technique est fourni par la sélection du blé au Brésil dans des conditions d'acidité et de toxicité qui est due à la présence d'aluminium dans le sol. Les cultivars de blé développés de cette façon sont cultivés dans des zones où il est impossible de produire du blé sans l'utilisation de variétés résistantes à l'aluminium.

1.3.2 *Sélection dans des conditions contrôlées au laboratoire*

Les conditions au champ sont généralement assez variables d'une année à l'autre et d'un endroit à l'autre et ne sont pas souvent prévisibles. Pour plus de précision dans la procédure de sélection, surtout durant les premières étapes, le sélectionneur peut utiliser des conditions contrôlées au laboratoire. Les températures peuvent être bien régulées. Des solutions nutritives avec des degrés de salinité, d'acidité ou de concentrations en différents éléments minéraux préalablement établis peuvent être utilisées dans le processus de sélection. Des chambres de culture avec des températures, des degrés d'humidité et des régimes de lumières contrôlés sont souvent employés.

Des lignées d'orge ont été testées en serre en utilisant des solutions salines avec des niveaux de salinité aussi élevés que ceux des eaux de mer. Les génotypes qui ont survécu ont été testés dans des champs irrigués avec de l'eau de mer. Certaines lignées ont produit environ 20 % des rendements qu'elles ont donnés lorsqu'elles ont été cultivées dans des conditions normales.

1.3.3 *Sélection pour les facteurs de résistance*

Une approche de sélection pour la résistance ou la tolérance aux différents facteurs de stress consiste à sélectionner pour les caractères physiologiques et/ou morphologiques qui permettent à la plante de résister ou d'échapper à ces stress. La sélection pour la précocité, par exemple, permet à la plante d'échapper à la sécheresse de fin de cycle qui caractérise les climats de type méditerranéen. La sélection pour un système racinaire bien développé peut être également utilisée comme critère de sélection pour la résistance à la sécheresse là où l'eau peut être stockée dans le sol mais à des profondeurs non exploitables par des plantes qui possèdent un système racinaire superficiel.

2 SELECTION POUR LA QUALITE DU PRODUIT

La qualité nutritionnelle du produit est aussi importante que sa quantité (rendement) pour cela, le sélectionneur a besoin :

- 1/ - de connaître parfaitement la nature et les priorités des critères nutritionnels ;
- 2/ - méthode appropriées d'analyse ;
- 3/ - d'une source de variabilité génétique pour le caractère en question

2.3 Caractères de qualité

La qualité peut être d'ordre organoleptique tel que le goût, la saveur, l'odeur, la texture etc..., l'ordre chimique ou biologique tel que la teneur en protéines, en huile, en sucre, etc..., ou l'ordre physique tel que la capacité du matériel à être stocké, la résistance à la casse durant la récolte, la grosseur ou la couleur de la graine, etc... Les instruments de mesure diffèrent selon le type de qualité. La valeur nutritive d'une plante fourragère par exemple est déterminée par l'utilisation du caractère de croissance de développement chez les animaux et par des instruments de mesure *in vitro*. La qualité chimique est déterminée par différents appareils de laboratoire

2.4 Quelques exemples de sélection pour la qualité

2.4.1 *Teneur en protéines chez les céréales*

Pour les céréales, la teneur en protéines varie d'une espèce à l'autre et, à l'intérieur d'une même espèce, d'une variété à l'autre (tableau 19). Un exemple de modifications génétiques de la composition chimique est donné par l'expérimentation de la sélection pour la teneur en protéines chez le maïs à l'Université d'Illinois, aux Etats-Unis (fig.24, chapitre 6). Après 70 générations de sélection, les sélectionneurs ont pu, d'un côté, diminuer la teneur en protéines de 10,9 à 4,0 % (sélection pour une teneur faible) et, d'un autre côté, augmenter cette teneur de départ (10,9 %) à 23,5 % (sélection pour une teneur élevée). Ceci montre qu'il y a une importante variabilité pour le teneur en protéines chez les céréales.

Généralement chez les céréales, cette teneur est négativement corrélée avec le rendement en grain. Cependant, il y a des exemples qui montrent qu'il est possible d'augmenter cette teneur sans trop affecter le rendement. Par exemple, des gènes à partir de la variété " Atlas 66 " de blé ont été utilisés pour augmenter la teneur en protéines de cette céréale sans réduire le rendement.

Tableau 19. Moyennes et intervalles de la teneur en protéines (%) pour différentes céréales (d'après MILLER, 1958)

Céréale	Teneur en protéines	
	Moyenne	Intervalle
Avoine	13.3	7.4 – 23.3
Blé	12.0	9.1 – 18.0
Maïs	10.4	7.5 – 16.9
Orge	13.1	8.5 – 21.2
Seigle	12.5	8.7 – 16.8

2.4.2 *Teneur en huile*

La valeur économique des huiles végétales a poussé les sélectionneurs à examiner la variabilité génétique pour ces huiles chez l'arachide, le carthame, le colza, le coton, le maïs, le soja, le sésame et le tournesol. En Russie, les sélectionneurs ont pu augmenter la teneur en huile chez le tournesol de 30 à 50 % au cours d'une période de 50 ans.

Ailleurs, chez le carthame, les sélectionneurs ont augmenté cette teneur de 37 à 50 %. Chez le maïs, l'expérimentation de l'université d'Illinois (même expérimentation que celle de la sélection pour la teneur en protéines citée auparavant) a permis d'augmenter la teneur en huile de maïs de 4.7 à 17 % après 70 cycles de sélection.

Chez le carthame, le maïs et le tournesol, les gènes contrôlant la teneur en huile sont à effets additifs. Chez le sésame, ces gènes sont à effets principalement additifs avec des cas de dominance partielle.

2.4.3 *Sélection pour la qualité fourragère*

Beaucoup de progrès ont été accomplis dans la sélection pour la qualité chez les graminées et les légumineuses fourragères. Le développement des variétés de plantes fourragères ayant une bonne qualité a permis d'améliorer la production animale par hectare. Les critères recherchés dans la sélection pour cette qualité sont la digestibilité, l'appétence, la valeur nutritive, etc... Un autre aspect important pour la qualité fourragère est la sélection contre les éléments antinutritionnels tels que les alcaloïdes.

Comme pour tout autre caractère de qualité, des méthodes d'analyse simples, rapides peu coûteuses et fiables sont nécessaires pour mener à bien un programme de sélection de ce genre.

3 **SELECTION POUR LES CARACTERES PHYSIOLOGIQUES**

3.3 *Choix des caractères physiologiques*

Le choix des caractères physiologiques à considérer dans un programme de sélection pour des rendements élevés est très important. Chez les céréales, l'angle et la surface foliaires, la photosynthèse, le nombre de stomates, la présence ou l'absence des barbes, la réponse au photopériodisme, l'absorption et le métabolisme des éléments nutritifs, les composantes du rendement, etc... constituent des caractères physiologiques qui peuvent être génétiquement modifiés. Leur modification influence-t-elle le rendement ? Tous les sélectionneurs doivent se poser cette question.

La contribution de ces caractères au rendement peut être déterminée par la comparaison de lignées isogéniques qui sont généralement identiques sauf pour le ou les gènes contrôlant le caractère à étudier. On peut comparer deux lignées isogéniques pour l'angle foliaire. Elles sont identiques pour tous les caractères sauf pour l'angle des feuilles.

3.4 *Exemples de sélection pour les caractères physiologiques*

Le développement des variétés semi-naines de blé et de riz a permis l'augmentation des rendements de ces céréales. En effet, les variétés semi-naines sont plus résistantes à la verse que les variétés hautes mais la résistance à la verse toute seule n'explique pas toute la différence de rendements qui existe entre les deux catégories de hauteurs.

Ces variétés sont plus productives même en l'absence de verse. La translocation des assimilats de la tige aux graines est supérieure pour les variétés semi-naines conduisant ainsi à des indices de récolte (ratio grain sur grain plus paille) élevés.

L'efficacité d'utilisation de l'eau peut être améliorée par l'emploi de quantités moindres d'eau pour produire un rendement constant ou par l'augmentation du rendement pour une même quantité d'eau.

La variabilité dans l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'intérieur d'une même espèce est relativement faible par rapport à la différence qui existe entre différentes espèces mais elle est suffisamment importante pour justifier la sélection pour cette caractéristique.

La nutrition minérale peut affecter le développement et la croissance des plantes. Cet effet peut aller d'une augmentation du rendement résultant de l'addition des facteurs limitant jusqu'à la toxicité causée par certains éléments tels que l'aluminium.

Chez le blé, les héritabilités pour la variation de l'accumulation du phosphore, de la potasse, du calcium et du manganèse dans la plante ont été évaluées et ont été trouvées assez élevées pour permettre une sélection efficace pour ces caractéristiques.

Le métabolisme de l'azote est très important pour la plante. L'activité enzymatique impliquée dans ce métabolisme peut être améliorée génétiquement. Ceci peut permettre une augmentation du rendement et de la teneur en protéines ;

A cette fin, les sélectionneurs doivent travailler en collaboration avec les physiologistes pour mieux comprendre le comportement des caractères physiologiques et leurs relations avec le rendement. Une meilleure compréhension de ces caractères et leur utilisation dans des programmes de sélection augmenteront certainement la production.