

Quels sont les outils de l'amélioration des plantes ? Les anciens outils traditionnels

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 01.04.Q22

novembre 2022

Mots clés : amélioration plante - sélection - croisement - rétrocroisement - croisement interspécifique - doublement chromosomique - mutagenèse aléatoire

Les outils à la disposition du sélectionneur de plantes se sont diversifiés avec les progrès des connaissances en biologie et en génétique. Pendant longtemps limités à la sélection au niveau des phénotypes et aux systèmes de reproduction (croisement et autofécondation), ils se sont enrichis depuis les années 1970 de différents outils issus des biotechnologies qui permettent des interventions de plus en plus précises au niveau du génome¹ et du génotype.

Dans cette fiche ne sont considérés que les outils de base et traditionnels de l'amélioration des plantes ; les outils plus récents sont considérés dans la [fiche 01.04.Q23](#).

Les outils les plus anciens : la sélection et le croisement

La sélection des *meilleures plantes* est le premier outil qui fut utilisé par l'agriculteur au moment de la domestication des plantes. Ces *meilleures plantes*, celles avec les caractéristiques désirées, étaient sélectionnées pour leur utilisation et pour le passage à la génération suivante². Aujourd'hui, les *meilleures plantes* sont le point de départ de la création de variétés (voir [fiche 01.04.Q21](#)). D'un point de vue génétique, la sélection des meilleures plantes revient à retenir celles qui, en moyenne, portent le plus de gènes favorables pour les caractères recherchés. L'efficacité de cette sélection dépend de la possibilité de "lire" la valeur génétique d'une plante à travers ce qui est observé, son phénotype, qui est le résultat cumulé de l'effet de l'ensemble des gènes du génotype et des effets du milieu. Le degré de correspondance entre la valeur phénotypique et la valeur génotypique est appelé l'héritabilité. Si cette correspondance est faible, la sélection sera peu efficace.

Pour les caractères influencés par le milieu comme le rendement, une façon d'augmenter l'efficacité de la sélection, donc d'augmenter l'héritabilité, est de réaliser des tests de descendance en autofécondation ou en croisement avec des répétitions sur le terrain. Ces descendance permettent de "déployer" *in situ* les gènes contenus dans l'individu. Pour des caractères de vigueur ou de rendement, les descendants obtenus sont comme des répétitions totales ou partielles³ de l'individu et leur étude avec des répétitions sur le terrain permet de limiter les risques de confusion entre la valeur génétique d'une plante et les effets du milieu qui l'affectent.

D'un point de vue génétique, les gènes favorables pour différents caractères sont souvent répartis chez différents individus. Le principe de la sélection est donc d'essayer de les réunir dans un même génotype. Cela est réalisé par le croisement de plantes complémentaires suivi de sélection dans la descendance du croisement des individus ayant "récupéré" des gènes favorables des deux parents, puis d'un nouveau croisement suivi de sélection dans la descendance et ainsi de suite (voir [fiche 01.04.Q21](#) *Comment crée-t-on une variété en amélioration des plantes ?*).

¹ Ensemble des chromosomes d'une espèce.

² Pour une plante dont on consomme les graines, ce sont les graines récoltées sur les "meilleures" plantes qui assuraient le passage à la génération suivante.

³ Dans le cas de plantes issues d'une population autogame, formée d'un mélange de plantes homozygotes, il s'agit même d'une véritable répétition du génotype.

À la base de la création de variétés homogènes, la reproduction en consanguinité et l'hybridation

L'obtention de lignées par autofécondation

Par autofécondation (reproduction d'un individu avec lui-même), à un locus du génome nucléaire, avec deux allèles⁴ A et a , une plante hétérozygote Aa donne une descendance $\frac{1}{4} AA$, $\frac{1}{2} Aa$ et $\frac{1}{4} aa$. Ce mode de reproduction divise donc par deux à chaque génération la proportion de locus hétérozygotes ; répété pendant plusieurs générations (6 à 7) il est un moyen pour approcher l'homozygotie totale, c'est-à-dire obtenir des lignées quasi pures qui pourront être reproduites identiques à elles-mêmes par autofécondation.

L'autofécondation de plantes hétérozygotes est aussi un moyen pour éliminer par sélection les gènes récessifs défavorables masqués à l'état hétérozygote par l'allèle dominant⁵. Ainsi, à un locus, l'autofécondation d'une plante hétérozygote Aa donnant $\frac{1}{4} AA$, $\frac{1}{2} Aa$, $\frac{1}{4} aa$, le génotype aa pourra être éliminé ; en poursuivant l'opération "autofécondation suivie de sélection", on finit par éliminer l'allèle a et on aura fixé l'allèle favorable A à l'état homozygote. Si c'est l'allèle a qui est favorable, il pourra être sélectionné et fixé plus rapidement à l'état homozygote. D'une façon plus générale, en faisant apparaître des gènes masqués à l'état hétérozygote, l'autofécondation augmente la variabilité génétique utilisable par le sélectionneur.

L'haplo-diploïdisation

L'haplo-diploïdisation est un procédé qui permet de passer directement d'une plante hétérozygote à un ensemble de lignées qui peuvent en être dérivées sans sélection. Le principe est de régénérer des individus à partir des apports gamétiques ; on obtient alors des plantes haploïdes (avec un seul jeu de chromosomes), qui sont en général stériles, mais le doublement de leur nombre chromosomique les rend fertiles et conduit par autofécondation à une descendance parfaitement homozygote. Par rapport à l'utilisation de l'autofécondation, il en résulte un gain de temps dans l'obtention des lignées. Les plantes haploïdes peuvent apparaître spontanément (cas de l'asperge) ou être obtenues par culture *in vitro* d'anthères ou d'ovules. Elles peuvent être aussi obtenues par croisement entre espèces (par exemple chez le blé par des croisements blé x maïs ou blé x orge bulbeuse) ou avec des génotypes inducteurs (comme chez le maïs).

L'hybridation après consanguinité

La consanguinité a deux effets : d'une part la destruction de l'état hétérozygote entraînant la suppression des effets de superdominance⁶ s'ils existent, et d'autre part l'apparition de gènes récessifs défavorables qui étaient masqués à l'état hétérozygote⁷. Il en résulte une perte de vigueur, d'autant plus forte que la consanguinité est plus forte. C'est un phénomène surtout marqué chez les plantes à fécondation croisée.

Le croisement entre plantes consanguines non apparentées (plus ou moins complémentaires) restaure la vigueur de départ (les allèles récessifs défavorables sont à nouveau masqués à l'état hétérozygote). L'hybridation après consanguinité permet aussi d'augmenter la variation génétique entre croisements : c'est la conséquence de l'augmentation de la variation entre lignées. Le croisement entre lignées homozygotes suivi de sélection permet alors de sélectionner des croisements meilleurs que le croisement entre plantes ou familles non consanguines. La consanguinité suivie d'hybridation est à la base de la méthode de la création des variétés hybrides.

Le transfert d'allèles par rétrocroisement

Pour des caractères déterminés seulement par un ou deux gènes à effets forts et visibles (gènes dits "majeurs"), la méthode d'amélioration la plus simple sur le plan génétique consiste à remplacer, à un locus donné, un allèle défavorable, présent dans un génotype (dit receveur) ayant par ailleurs de nombreux autres gènes favorables, par un allèle favorable, donné par un génotype (dit donneur) ayant souvent par ailleurs des caractères défavorables. Dans le principe du rétrocroisement, on retrouve le principe des cycles de croisement suivi de sélection. Après chaque croisement avec le parent receveur, il faut sélectionner les plantes porteuses du gène à introduire qui seront recroisées avec le parent receveur (Figure 1). Pour un gène

⁴ À un locus, un allèle est une variante d'un gène : ainsi parle-t-on d'un gène de coloration des fleurs avec les allèles blanc/rouge par exemple.

⁵ À un locus hétérozygote, un allèle A est dit dominant s'il masque l'effet de l'autre allèle a qui, lui, est dit récessif.

⁶ Il y a superdominance à un locus hétérozygote lorsque $Aa > AA$ ou aa .

⁷ Ces effets défavorables de la consanguinité, aussi observés chez l'Homme, notamment dans les familles des pharaons égyptiens avec des mariages entre apparentés très proches, ont été à l'origine de l'interdiction des mariages consanguins par l'Église.

[page 2](#) Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

dominant, l'identification des plantes porteuses du gène à transférer se fait par l'évaluation du phénotype agronomique (par exemple identification des plantes résistantes à une maladie)⁸.

À chaque génération de rétrocroisement, la proportion du génome receveur augmente : la proportion du génome donneur est divisée par deux⁹. Au bout de cinq à six générations de rétrocroisement, on peut donc considérer que le retour vers le parent récurrent est suffisant pour les chromosomes non porteurs du gène transféré. En revanche, pour le chromosome porteur, autour du gène à transférer qui est maintenu à l'état hétérozygote au cours des cycles de rétrocroisements, c'est tout un fragment chromosomique du donneur qui est entraîné avec le gène à transférer (fragment qui peut représenter jusqu'à 30 % de la longueur du chromosome). On termine le processus par deux générations d'autofécondation pour fixer le gène transféré à l'état homozygote. Mais on fixe alors de nombreux autres gènes du parent donneur qui lui sont liés.

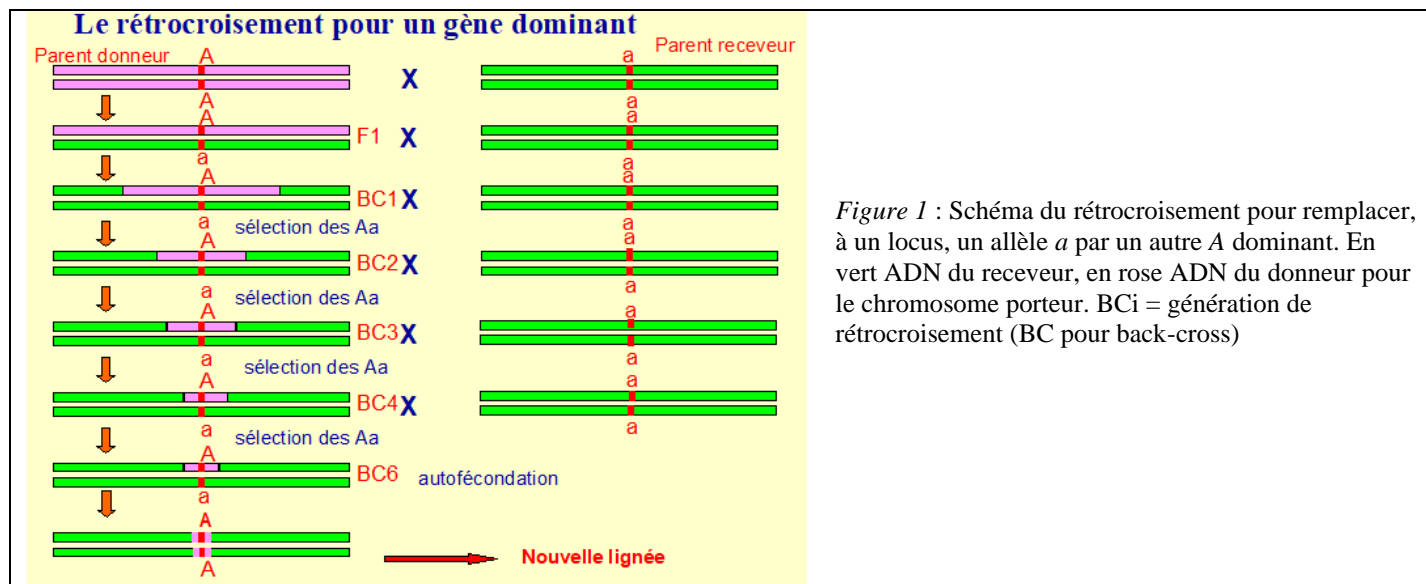


Figure 1 : Schéma du rétrocroisement pour remplacer, à un locus, un allèle *a* par un autre *A* dominant. En vert ADN du receveur, en rose ADN du donneur pour le chromosome porteur. BC_i = génération de rétrocroisement (BC pour back-cross)

Aujourd'hui, ce transfert d'allèle peut être réalisé de façon précise par les méthodes d'édition du génome (cf. [fiche 01.04.Q23](#) *Quels sont les outils de l'amélioration des plantes ? Les outils modernes*)

Des outils pour apporter une nouvelle variabilité génétique

Le doublement du nombre chromosomique

En 1936, une substance a été découverte, la colchicine, qui perturbe la mitose¹⁰ en empêchant la séparation des cellules filles ; il en résulte le doublement du nombre de chromosomes dans le noyau.

Une première application du doublement du nombre de chromosomes est au niveau des caractères d'une plante. Il modifie en effet le fonctionnement des gènes, d'où il résulte une modification des caractères. Les cellules sont plus grandes, la surface foliaire est aussi plus grande, la plante se ramifie moins mais, avec des organes (tiges et feuilles) plus longs et plus "gros", produit souvent plus de biomasse. La composition interne de la plante est aussi modifiée et cela conduit par exemple chez les graminées fourragères à des plantes plus digestibles. Ainsi, le doublement chromosomique a été utilisé chez la betterave car il conduisait à des racines ayant une meilleure forme ; en fait, ce sont des variétés triploïdes qui ont été développées par le croisement femelle diploïde x mâle tétraploïde. On produit de la même façon des pastèques triploïdes, sans pépins (ou très peu).

Une autre application du doublement chromosomique concerne les croisements interspécifiques. Lorsqu'on croise deux espèces, l'hybride F₁ obtenu est souvent stérile car les chromosomes des deux espèces ne s'apparient pas à la méiose¹¹. Le doublement du nombre de chromosomes restaure la fertilité ; une

⁸ Si l'allèle à transférer est récessif, il faut autoféconder les plantes obtenues après chaque rétrocroisement pour faire apparaître l'allèle ; au schéma de la figure 1 on ajoute ainsi cinq générations.

⁹ En notant par *D* le génome du donneur et par *R* celui du receveur, la F₁ est *DR* et le rétrocroisement d'un hétérozygote *DR* par un homozygote *RR* donne une descendance $\frac{1}{2} DR + \frac{1}{2} RR$.

¹⁰ Division des cellules somatiques qui conduit à deux cellules identiques à la cellule mère, avec les mêmes chromosomes.

¹¹ Processus de division cellulaire qui conduit à la formation des gamètes, cellules avec un seul jeu de chromosomes, dites haploïdes pour une espèce diploïde.

[page 3](#) Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

nouvelle espèce est ainsi créée. C'est ainsi que le triticales, céréale très rustique, a été créé par croisement du blé dur (ou du blé tendre au début) par le seigle. De même, une nouvelle espèce de céréales, en cours d'étude, intéressante pour sa tolérance à la sécheresse, le tritordeum, a été obtenue par croisement du blé dur et de l'orge du Chili.

Le transfert de gènes entre espèces par la voie sexuée

Les échanges de gènes entre espèces peuvent être plus ou moins difficiles selon la "distance génétique" entre les espèces croisées et la nature des barrières au croisement. Ces difficultés sont dues à la stérilité des croisements interspécifiques, et à la difficulté de recombinaisons entre chromosomes qui ne sont pas suffisamment homologues. Si les barrières à l'échange de gènes ne sont pas trop fortes, il peut être fait appel au rétrocroisement comme pour le transfert d'un allèle. Dans le cas de fortes distances génétiques entre espèces, il faut mettre en œuvre des outils particuliers comme par exemple la culture d'embryons, le doublement du nombre chromosomique, l'utilisation d'une espèce "pont" (qui se croise assez bien avec les deux espèces que l'on veut croiser).

La création de nouveaux allèles : la mutagenèse aléatoire

Au sens large, la mutagenèse est l'induction de nouveaux caractères héréditaires par des modifications du génome. Au sens restreint, le plus courant, la mutagenèse est l'induction de modifications dans la séquence de l'ADN d'un gène contrôlant un caractère : elle crée en fait de nouveaux allèles à un locus ; on parle alors de mutation génique (voir [fiche 06.01.Q01 Mutants & mutagenèse dans le domaine végétal](#)).

Des modifications de la séquence de l'ADN peuvent se produire de façon spontanée au cours de la méiose par suite d'erreurs de réplication de l'ADN, et se retrouver dans la descendance de tout individu. Des facteurs du milieu, en particulier les rayons cosmiques et le rayonnement ultra-violet, peuvent aussi induire des mutations. La fréquence des mutations géniques spontanées, qui peuvent affecter les caractères phénotypiques, est assez faible, de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-6} . Cependant, à l'échelle du temps de l'évolution des espèces, ce phénomène est à l'origine de la variation génétique des espèces. C'est cette variabilité génétique qui est utilisée par le sélectionneur.

La mutagenèse artificielle peut être induite par des rayonnements ionisants (rayons X, rayonnement gamma avec le cobalt 60), et par des agents chimiques, les premiers étant connus depuis 1927 et les seconds depuis 1960. Ces agents provoquent les mêmes changements que les mutations spontanées, mais avec une fréquence beaucoup plus élevée (multipliée au moins par 100). L'agent chimique le plus utilisé est le MSE (méthane sulfonate d'éthyle). Pour le sélectionneur qui recherche des mutants particuliers pour certains caractères, elle demande d'étudier un grand nombre de plantes. De plus, une plante modifiée pour un caractère risque d'être modifiée pour d'autres caractères. Le sélectionneur doit alors étudier les plantes obtenues pour voir si elles n'ont pas avec le ou les caractères recherchés des caractères défavorables et si possible les éliminer par croisements.

André GALLAIS, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Les deux outils de base de l'amélioration des plantes sont le croisement et la sélection afin de réunir le maximum de gènes favorables dans un même génotype. L'autofécondation et l'haplo-diploïdisation permettent de créer des lignées reproductibles. Le doublement chromosomique permet de modifier certains caractères et facilite l'échange de gènes entre espèces par la voie sexuée ; il permet aussi de créer de nouvelles espèces. Enfin, la mutagenèse aléatoire génique permet de créer une nouvelle variabilité génétique utilisable par le sélectionneur.

Pour en savoir plus :

- André GALLAIS : *Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes*, Ed Quae, 2011, 278 p.
- André GALLAIS : *De la domestication à la transgénèse. Évolution des outils pour l'amélioration des plantes*, Ed Quae, 2013, 175 p.