

## Quelques notions de biologie et de génétique, pour mieux comprendre les méthodes d'amélioration des plantes

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 01.04.Q20

novembre 2022

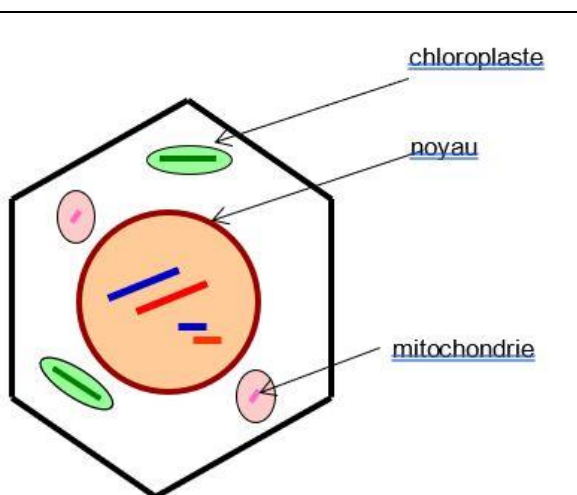
**Mots clés :** ADN - allèle - ARN - caractère qualitatif - caractère quantitatif - chloroplaste - chromosome - diploïde - dominance - gamète - gène - génotype - haploïde - hérabilité - hétérozygote - homologue - homozygote - locus - méiose - mitochondrie - mitose - noyau - ribosome

**Le but de cette fiche est d'introduire ou de rappeler un minimum de notions et de termes utiles de biologie générale et de génétique, pour mieux comprendre les outils et les méthodes de l'amélioration des plantes et des animaux.**

### Éléments de biologie générale : les constituants cellulaires et la formation des gamètes

Les animaux et les végétaux supérieurs sont constitués d'un grand nombre de cellules, véritables briques élémentaires qui constituent leurs tissus et organes. Le nombre de cellules est très variable chez les plantes, avec des estimations très approximatives qui vont de 1 milliard pour une plante d'arabette, à 100 ou 200 milliards pour une plante de maïs ; à titre de comparaison, chez l'Homme, les estimations sont de 50 000 à 100 000 milliards. Chaque cellule renferme au sein du cytoplasme un noyau et des organites, dont les ribosomes, les mitochondries et les chloroplastes, ces derniers étant spécifiques aux plantes (*Figure 1*). Les ribosomes jouent un rôle important dans la synthèse des protéines. Les mitochondries jouent un rôle essentiel dans la respiration, et les chloroplastes sont le siège de l'activité photosynthétique (fixation du gaz carbonique pour la production de matière sèche). Dans le noyau et dans chacun de ces deux organites se trouve de l'ADN (acide désoxyribonucléique), qui est le support des informations pour le pilotage du fonctionnement des cellules et le déterminisme des caractères tout au long de la vie de l'organisme.

*Figure 1* : Les composants d'une cellule. L'intérieur de la cellule contient d'une part le noyau qui contient les chromosomes, et d'autre part le cytoplasme qui contient notamment les chloroplastes chez les plantes, les mitochondries et les ribosomes. Les chromosomes sont organisés en paires et pour chaque paire, dans le cas de la reproduction sexuée, l'un est issu du parent mâle, en rouge, et l'autre du parent femelle, en bleu.

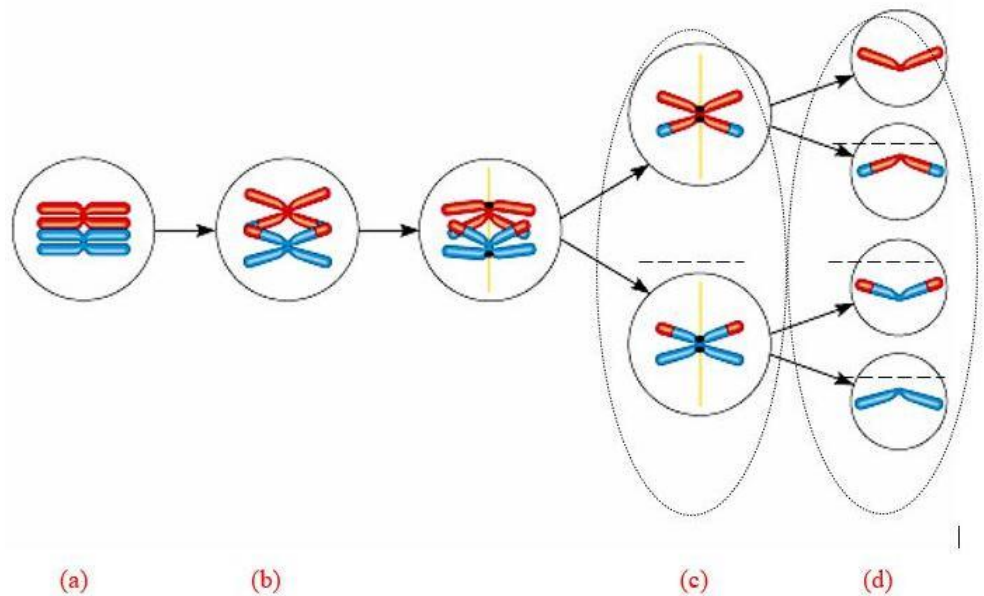


L'ADN du noyau est organisé en unités appelées chromosomes. Chez les organismes supérieurs, et pour une majorité d'espèces, l'ensemble des chromosomes est structuré en paires, on parle alors d'espèces diploïdes ou à fonctionnement diploïde ; le nombre de paires est caractéristique d'une espèce ou d'un groupe d'espèces apparentées. Ainsi, il y a 10 paires de chromosomes chez le maïs, 12 chez la tomate, 21 chez le blé et, à titre de comparaison, 23 chez l'Homme. Les chromosomes d'une paire sont dits homologues, car ils ont

la même structure<sup>1</sup>, avec la même séquence de gènes (mais non nécessairement la même séquence d'allèles, voir ci-dessous la différence entre gènes et allèles) ; pour chaque paire, l'un des chromosomes vient du parent mâle, l'autre vient du parent femelle. Pour certaines espèces végétales, le nombre de chromosomes homologues peut être de 4, 6, 8, rarement plus, on parle alors d'espèces autopolyploïdes.

Le passage d'une génération à une autre fait appel à un processus de division cellulaire particulier, la méiose, à l'origine des cellules reproductrices, les gamètes, qui, chez les espèces diploïdes, ne contiennent qu'un chromosome de chaque paire : elles sont dites haploïdes. Dans un gamète, chaque chromosome est en fait le résultat d'échanges réciproques lors de la méiose entre les deux chromosomes parentaux homologues : c'est le phénomène de recombinaison (*Figure 2*). Chez les plantes, le gamète mâle est issu du pollen et le gamète femelle (ou ovule) est contenu dans l'ovaire. À la fécondation, la fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle, tous les deux haploïdes, donne alors une nouvelle cellule diploïde, la cellule œuf, avec le nombre total de chromosomes de l'espèce. Cette cellule, après de nombreuses divisions appelées mitoses, aboutit à un organisme constitué de différents organes, dont les cellules, bien que spécialisées dans leur fonction, ont toutes la même information nucléaire.

*Figure 2 : La formation des gamètes chez une espèce diploïde. Au début du processus de la méiose, (a) les chromosomes homologues s'apparient et chaque bras chromosomique se dédouble en deux chromatides (qui restent liés en un point, le centromère). Puis (b) il se forme des chiasmats (chevauchements) entre les chromatides des chromosomes homologues, ce qui conduit à des échanges (recombinaisons) entre ces chromatides. Une première division cellulaire (c) conduit à la séparation des chromosomes homologues : les chromatides remaniés se*



retrouvent dans des cellules différentes. Enfin (d) une seconde division cellulaire conduit à la séparation des chromatides et aux gamètes haploïdes. Le nombre de recombinaisons par chromosome est limité, seulement d'une (pour les chromosomes les plus courts) à trois (pour les chromosomes les plus longs). Ainsi, la méiose permet la recombinaison entre les apports génétiques du parent mâle et ceux du parent femelle.

## Éléments de génétique formelle et moléculaire

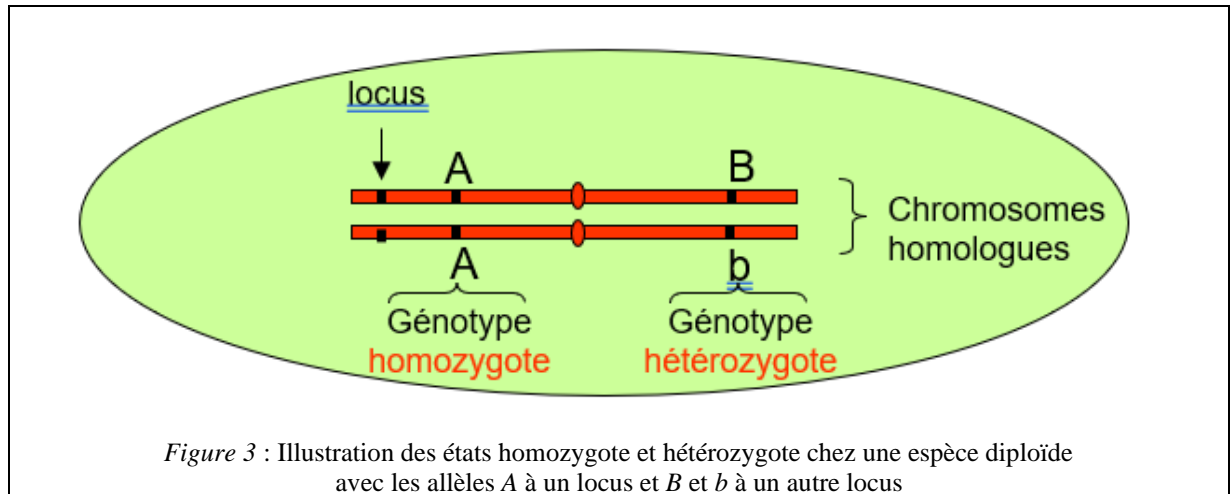
### Gènes et allèles

En première approche, un gène peut être défini comme une séquence d'ADN qui contient l'information génétique contribuant au déterminisme d'un caractère. Un caractère peut être déterminé par un seul gène (cas des caractères dits monogéniques) ou par plusieurs gènes (caractères dits polygéniques). Chaque gène occupe une position précise, ou locus, sur un chromosome. Pour une espèce donnée, tous les individus ont en principe les mêmes gènes (cf. note 1 en bas de page), c'est-à-dire le même ensemble de fonctions, mais pour un gène donné, l'information génétique peut varier plus ou moins d'un individu à l'autre. Ainsi, au sein d'une espèce végétale ornementale où le caractère *couleur de fleur* (blanche ou rouge) serait contrôlé par un seul gène, selon les plantes considérées, c'est l'information *couleur blanche* ou, au contraire, l'information *couleur rouge* qui sera présente. Ces variantes de l'information pour une fonction donnée, à un locus donné, sont appelées des allèles. C'est la diversité des allèles à chaque locus qui est à la base de la diversité des êtres vivants et de la diversité utilisée en sélection animale ou végétale.

### Génotype, homozygotie et hétérozygotie, dominance et récessivité

<sup>1</sup> Dans une première approche, car on a découvert dans les années 2005, qu'il peut y avoir des séquences d'ADN totalement manquantes d'un individu à l'autre.

Le génotype d'un individu, pour un ou plusieurs locus, correspond aux allèles qu'il porte, en tenant compte de leur place sur le chromosome et de leurs liaisons dans le cas de plusieurs locus. Par extension, dans une population, en considérant l'ensemble des locus, le génotype est souvent assimilé à l'individu. À un locus donné, chez un individu d'une espèce diploïde, si les deux gènes sont identiques (apportent la même information génétique), le génotype est dit homozygote ; si les deux informations sont différentes, donc s'il y a deux allèles, donc deux gènes différents, le génotype est dit hétérozygote (*Figure 3*). Chez un génotype hétérozygote, si l'effet de l'un des allèles masque l'effet de l'autre allèle, on parle de dominance. L'allèle dont l'effet est masqué est dit récessif ; l'autre allèle est dit dominant.



### La structure de l'ADN et le passage du gène au caractère

Le passage du gène, de l'information génétique au caractère, se fait par l'intermédiaire de protéines (en fait des enzymes<sup>2</sup>). Cela passe par la synthèse d'ARN (acide ribonucléique) qui peut ensuite être traduit en une protéine déterminant une fonction ou un caractère, mais ce n'est pas toujours le cas : de nombreux gènes de régulation ne sont pas traduits en protéines. Nous nous limitons ici aux gènes codant pour une protéine.

Au niveau de l'ADN, l'information portée par le gène est formée par la succession de quatre briques élémentaires, les nucléotides, constitués chacun d'une base azotée (A pour adénine, T, pour thymine, C pour cytosine, G pour guanine) associée à un sucre (le désoxyribose) et à l'acide phosphorique (*Figure 4*, page 4). C'est la succession des nucléotides de l'ADN qui détermine la séquence des acides aminés d'une protéine.

En fait, les nucléotides constituent un alphabet à quatre lettres servant à former des mots de trois lettres. Ainsi, de façon simplifiée, un triplet de nucléotides code pour l'un des 20 acides aminés possibles dans le monde vivant ; la succession des mots (triplets) définit l'équivalent d'une phrase précisant la succession des acides aminés qui vont former la protéine. Ce code est universel, on le retrouve de la bactérie à l'éléphant ou des micro-organismes à l'Homme. On peut donc dire que la chaîne d'ADN est l'équivalent d'une longue bande magnétique avec tout un programme de synthèse de protéines et de régulations à exécuter. Il y a tout un système de lecture de cette bande.

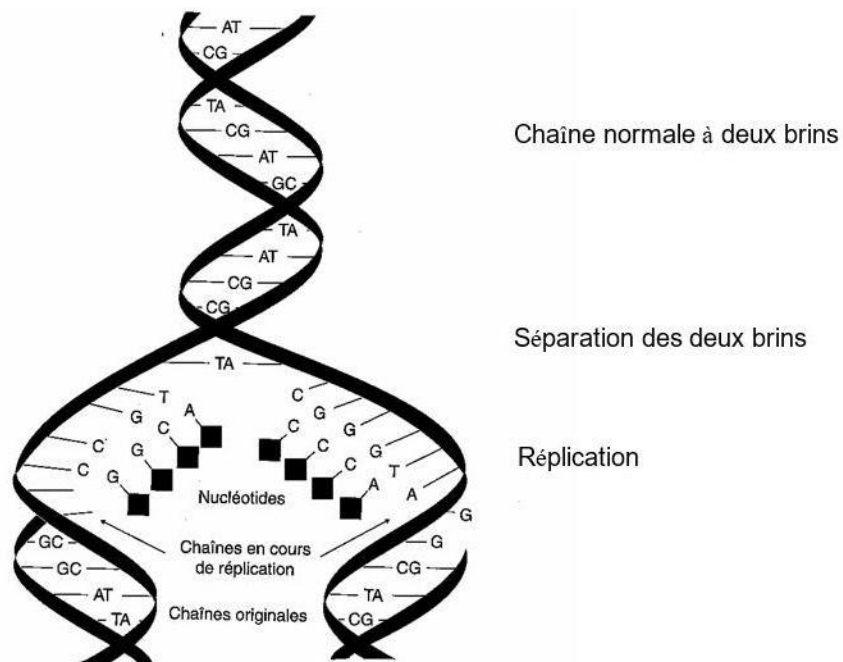
La lecture de la séquence d'ADN (la lecture du programme) se fait par une enzyme (l'équivalent d'un lecteur de bande magnétique) qui transcrit l'information sous forme d'une chaîne d'acide ribonucléique, l'ARN messenger. La chaîne d'ARN messenger est formée par la séquence correspondante des nucléotides de l'ADN, à une différence près, l'uracyle (U) remplaçant la thymine (T). Après maturation, c'est-à-dire élimination des zones non codantes<sup>3</sup>, les ARN messagers migrent dans le cytoplasme où ils vont être traduits en une séquence d'acides aminés formant la protéine codée par le gène, par l'intermédiaire d'une machinerie protéique, les ribosomes.

<sup>2</sup> Protéine qui facilite (catalyse) une réaction, le passage d'un composé A à un composé B.

<sup>3</sup> Dans un gène on trouve en fait des séquences non codantes qui sont lues et doivent être éliminées (dans une première étape de compréhension de la génétique, on peut ignorer ce phénomène, malgré son importance).

Figure 4 : La chaîne d'ADN et sa réplication.

La chaîne d'ADN est une molécule à deux brins enroulés en hélice (partie supérieure de la figure). Chaque brin est constitué par la succession de nucléotides avec chacun une base (A pour adénine, T pour thymine, G pour guanine et C pour cytosine) ; les deux brins sont complémentaires l'un de l'autre, un nucléotide A s'apparie avec un nucléotide T et un nucléotide G s'apparie avec un nucléotide C. Déroulée sur un plan, la molécule d'ADN ressemble donc à une échelle dont les bords sont les brins de la chaîne et les barreaux les liaisons entre les bases A et T d'une part et G et C d'autre part. Présente dans chaque cellule, cette échelle à une longueur d'environ 1 mètre chez l'homme et le maïs. Cette molécule a une propriété remarquable : les deux brins peuvent se séparer et chacun d'eux peut reconstituer l'autre brin (partie inférieure de la figure). C'est ainsi que le génome peut être copié de façon stable au cours des mitoses et des méioses. Toutefois, il peut y avoir des erreurs dans le recopiage : elles sont à l'origine de mutations spontanées, c'est-à-dire de nouveaux allèles<sup>4</sup>



### Caractères qualitatifs et caractères quantitatifs

Le passage du gène au caractère conduit à la notion de phénotype pour un génotype donné. Le phénotype correspond à la valeur du caractère mesuré ou observé chez un individu ; il est le résultat des effets des gènes et des effets du milieu. De ce point de vue, on distingue deux types de caractères, les caractères qualitatifs et les caractères quantitatifs :

- Les caractères qualitatifs (comme la couleur des fleurs), dits aussi oligogéniques, sont déterminés par un nombre réduit de gènes (un ou deux, voire trois), leur variation est discontinue et à travers leur phénotype on peut déduire sans ambiguïté le (ou les) génotype(s) correspondant(s).
- Les caractères quantitatifs (comme la taille des plantes, le rendement), dits aussi polygéniques, sont en général déterminés par un nombre élevé de gènes, et sont plus ou moins affectés par le milieu.

Ces deux types de mécanismes entraînent chacun une variation continue. Il n'y a alors plus de correspondance stricte entre le phénotype et le génotype. Le degré de correspondance entre la valeur génotypique (liée au génotype) et la valeur phénotypique est appelé héritabilité, une notion statistique qui mesure le degré de confiance que l'on peut faire dans l'évaluation de la valeur génotypique par la valeur phénotypique. C'est un paramètre très utilisé en amélioration des plantes et des animaux domestiques : il détermine l'efficacité de la sélection sur les caractères quantitatifs.

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

<sup>4</sup> Voir [fiche 01.04.Q22](#) et [fiche 01.04.Q23](#) "Les outils de l'amélioration des plantes" (André Gallais), et [fiche 06.01.Q01](#) "Mutants & mutagenèse dans le domaine végétal" (Georges Pelletier)