

Mutants et mutagenèse dans le domaine végétal

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 06.01.Q01

mars 2023

Mots clés : mutation - mutagène - mutagenèse - sélection végétale

Depuis près d'un siècle, des mutants issus d'une mutagenèse induite s'ajoutent aux mutants naturels pour augmenter la diversité génétique des espèces cultivées, et sont utilisés indifféremment dans la création des variétés végétales. Dans la première moitié du 20^e siècle, on a découvert les effets mutagènes de certains rayonnements (rayons X, gamma, ultra-violets...), et dans sa seconde moitié ceux de certaines substances (azoture de sodium, méthanesulfonate d'éthyle ...). La mutagenèse est ainsi devenue un outil banal dans la sélection végétale.

On recensait en 2015, parmi 170 espèces, plus de 3 360 variétés issues directement de traitements mutagènes, essentiellement par rayonnement, sans compter celles qui en dérivent après croisement et qui ne sont pas répertoriées.

Qu'est-ce qu'une mutation ?

On appelle mutation tout changement dans la séquence d'ADN du génome d'un organisme. Une mutation peut être spontanée ou provoquée par une intervention humaine.

Y a-t-il différents types de mutations ?

Les changements dans la séquence d'ADN sont très divers ; ils peuvent être ponctuels : substitution de nucléotides (par exemple GC qui devient AT), addition ou soustraction d'un petit nombre de nucléotides ; ou structurels : élimination d'un fragment de la séquence d'ADN (délétion), inversion d'une séquence, déplacement d'un fragment à un autre site du génome (translocation), duplication d'une séquence, insertion d'une autre séquence d'ADN endogène (par exemple un élément transposable ou un fragment d'ADN chloroplastique ou mitochondrial).

Les mutations spontanées sont-elles fréquentes ?

On considère que la fréquence de mutation par génération est sensiblement du même ordre, qu'il s'agisse de l'homme, d'un nématode ou d'une plante. Un ordre de grandeur moyen est de 1 mutation pour 100 millions de paires de bases d'un génome.

Autrement dit connaissant la taille en paire de bases des génomes, une simple règle de trois indique qu'une graine de colza aura accumulé une douzaine de mutations par rapport à la graine de la génération précédente, 150 pour un grain de blé. Ainsi l'agriculteur produit dans chacun de ses hectares de blé (pour faire simple un million de plantes) au moins 150 millions de mutations dispersées dans la récolte. Ce qui veut dire que tous les gènes du blé y sont mutés au moins une fois ! Chez l'homme dont le génome est de 3 milliards de paires de bases environ, on confirme par les techniques modernes de séquençage que l'enfant porte une soixantaine de mutations par rapport à ce que ses parents lui auraient transmis si les génomes étaient immuables !

Contrairement à l'idée que "*la mutation est un phénomène rare*", les mutations spontanées sont extrêmement fréquentes si l'on considère l'ensemble de l'espèce. Le calcul simple précédent appliqué à tous les hectares cultivés, conduit à concevoir que chaque gène de blé mute spontanément 220 millions de fois chaque année. Cependant, cette très grande variabilité est également très dispersée et par conséquent pratiquement inaccessible faute des moyens pratiques pour le sélectionneur. Il n'existe donc pas de variété végétale qui ne soit pas *mutée*, qu'il s'agisse de variétés anciennes ou récentes, issues de semences

industrielles ou *paysannes*. C'est en effet une caractéristique majeure des êtres vivants que leur génome change et évolue.

Par quoi sont provoquées les mutations spontanées ?

Les mutations spontanées sont provoquées par divers facteurs comme :

- des *erreurs* de copie de l'ADN avant la division cellulaire,
- des stress physiques ou chimiques,
- des irradiations (UV, rayons cosmiques),
- certaines attaques parasitaires qui peuvent mobiliser des éléments transposables.

Les mutations sont les *particules élémentaires de la biodiversité* nécessaires à l'évolution. Sans elles, nous serions encore sous la forme de simples molécules organiques, comme il y a 3 milliards d'années !

Pourquoi la mutagénèse ?

Les mutations spontanées sont nombreuses parce que les génomes sont constitués d'enchaînements de centaines de millions ou de milliards de paires de bases.

En revanche, la mutation spontanée d'un gène particulier, produisant de surcroît une propriété intéressante, est très rare. On peut dire qu'elle varie d'une chance sur un million à une chance sur 100 milliards. Il n'est pas possible d'observer des millions ou des milliards de plantes, sauf à pouvoir pratiquer une sélection extrêmement efficace sur des centaines à des millions d'hectares (l'apparition d'adventices tolérantes à un herbicide est le résultat d'une telle sélection à grande échelle quand de grands espaces de culture sont traités avec cet herbicide).

L'utilisation de traitements mutagènes, chimiques ou physiques, augmente considérablement la fréquence des mutations, environ par un facteur 1 000, ce qui réduit dans la même proportion le nombre de plantes à observer et à sélectionner pour obtenir la mutation désirée. Cependant le nombre total de mutations dans ce cas est encore environ 1 000 fois plus faible que le nombre de différences entre les ADN de deux individus non apparentés de la même espèce.

Les mutations induites sont-elles de nature différente des mutations spontanées ?

Différents types de mutations peuvent être obtenus selon le traitement mutagène utilisé, agent chimique, irradiation ou stress en culture de cellules *in vitro* par exemple. L'ensemble de ces mutagènes peut reproduire les différents types de mutations spontanées, qu'elles soient ponctuelles ou structurelles. Les mutations provoquées sont de même nature que les mutations spontanées qui sont elles-mêmes d'une grande variété.

Peut-on savoir si une mutation est spontanée ou provoquée ?

Lors d'un traitement mutagène s'ajoutent aux mutations induites les mutations spontanées (en faible proportion par conséquent). Les types d'altérations de l'ADN provoquées dans l'un et l'autre cas n'étant pas différents il n'y a aucun moyen de reconnaître l'origine d'une mutation. Ainsi, après l'isolement d'un mutant à la suite d'un traitement mutagène, on ne peut pas avoir la certitude – même si l'on analyse la modification de l'ADN qui s'est produite – que ce mutant a été induit par le traitement. Il y a seulement une plus grande probabilité qu'il ait été induit.

Peut-on diriger les mutations ?

Qu'elles soient spontanées ou induites, les mutations sont aléatoires. Le temps et l'espace nécessaires à la détection, de la mutation d'intérêt parmi le pool des mutations aléatoires, sont des facteurs qui limitent énormément l'efficacité de cette recherche.

De nouvelles techniques moléculaires (comme CRISPR Cas¹) se développent très rapidement dans tous les domaines de la biologie pour modifier précisément la séquence de nucléotides d'un gène, le corriger quand il est défectueux (cas des maladies génétiques) ou le réduire au silence (cas de l'élimination d'une substance naturelle indésirable).

Quelques exemples de variétés directement issues de mutagenèse induite.

Tpe de culture	Espèces	Caractère obtenu, (variété), pays utilisateurs principaux
Plantes de grande culture	Blé	Résistances à des herbicides (plus de 150 variétés dans le monde), Tolérance à la sécheresse : Pakistan, Chine.
	Orge	Paille courte ('Baraka', 'Bétina') : France.
	Riz	Forme et qualité du grain ('Delta', 'Arlatan', 'Calendal'), Résistance à la verse ('Allorio lambda') : France.
	Colza	Faible teneur de l'huile en acide alpha-linolénique, forte teneur en acide oléique, nanisme: France, Canada.
	Féverole	Précocité, résistance aux maladies, haute teneur en protéines.
	Lin	Faible teneur en acide alpha-linolénique ('Linola') : Canada.
	Tournesol	Forte teneur en acide oléique, résistance à un herbicide.
Espèces maraîchères et légumières	Laitue	Nanisme ('Ice cube', 'Mini-green') : Etats Unis, Résistance à la chaleur ('Evergreen') : Japon.
	Pomme de terre	Couleur de la peau.
	Tomate	Résistances aux maladies : Chine, Japon.
Espèces fruitières	Pamplemousse	Absence de pépins : Brésil, Argentine.
	Pommier	Port de l'arbre ('Courtgold', 'Courtavel'), Absence de russeting du fruit, ('Lysgolden'), Forte coloration du fruit ('Belrene') : France, Autriche, Canada, Japon.
	Cerisier	Autofertilité ('Stella') : Canada, Port compact ('Burlat C1') : Italie.
	Pêcher	Couleur du fruit et précocité de maturité ('Magnif 135') : Argentine.
	Abricotier	Précocité ('Early Blenheim') : Canada.
Espèces ornementales	Forsythia	Port plus compact ('Courtalyn' WEEK-END®, 'Courtasol' MAREE D'OR®, 'Courtacour' BOUCLE D'OR®, 'Courtaneur' MELEE D'OR®, 'Courdijau' CASQUE D'OR® : France et distribution dans le monde.
	Weigela	Feuillage panaché ('Courtatom' COULEUR D'AUTOMNE®), Couleur des fleurs ('Courtavif' RUBIVIF®), Port nain ('Courtadur' GRENADINE®, 'Courtanin' NAIN ROUGE®) : France et distribution dans le monde.
	Caryopteris	Port compact, couleur des fleurs absence de pilosité ('Innoveris' GRAND BLEU®) : France et distribution dans le monde.
	Chrysanthème	279 variétés dans la base de données de l'IAEA.
	Rosier	135 variétés dans la base de données de l'IAEA.
	Divers	16 azalées, 6 lis, 35 alstroemères, ...

Georges PELLETIER, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Divers traitements peuvent reproduire à forte fréquence des mutations probablement présentes dans l'espèce mais trop sporadiques pour être révélées.

Bien qu'obtenues de façon aléatoire ces mutations sont très utilisées dans le monde depuis plus de 80 ans pour la sélection des variétés végétales.

¹ Les systèmes CRISPR Cas, introduits dans une cellule vivante, permettent de couper l'ADN à un endroit précis du génome. Ils sont constitués d'un « ARN guide » synthétique qui s'hybride à la séquence d'ADN cible et d'une endo-nucléase « Cas » (CRISPR associated protein) qui s'associe à cet ARN pour réaliser une coupure de la double hélice d'ADN. Ce sont des exemples de ce qu'on appelle de manière imagée des « ciseaux moléculaires ».