

Amélioration génétique des Plantes

Chapitre II

Variation génétique et amélioration des plantes

- 1. Génétique Mendélienne et hérédité quantitative.**
- 2. Mutation génétique.**
- 3. Variations chromosomiques.**
- 4. Incompatibilités et stérilité mâle.**

1. Génétique Mendélienne et hérédité quantitative

1.1. Génétique Mendélienne

Les lois de Mendel définissent la manière dont les gènes et les caractères se transmettent de génération en génération.

1.1.1. Vers 1850, Mendel découvre que :

- Un organisme hérite de 2 facteurs pour chaque caractère (les facteurs héréditaires de Mendel sont aujourd'hui appelés gènes).
- Un caractère peut présenter 2 formes différentes (aujourd'hui appelées allèles).
- Le facteur dominant masque le facteur récessif (pour un caractère X Mendel note le facteur dominant X, le récessif x).
- Les 2 facteurs se séparent durant la formation des gamètes (loi de ségrégation qui correspond à la séparation des paires de chromosomes homologues durant la méiose).

- Les paires de facteurs se séparent de façon indépendante les unes des autres (loi de ségrégation indépendante qui correspond à l'assortiment indépendant des paires de chromosomes homologues à la métaphase I de la première division méiotique).

1.1.2. Redécouverte des lois de Mendel

Carl Correns (1900)

- **Première loi** : loi d'uniformité des hybrides de première génération.
- **Deuxième loi** : loi de disjonction des allèles.
- **Troisième loi** : ségrégation indépendante des caractères héréditaires multiples.

1.2. Hérité quantitative

1.2.1. Bases mendéliennes de la génétique quantitative

a)- Transmission mendélienne :

- Pour un gène (locus) donné, un individu diploïde est porteur de 2 copies (allèles) du gène.
- Il transmet à un descendant uniquement un de ses allèles, aléatoirement.
- La probabilité de transmission d'une copie est de $\frac{1}{2}$.

b)- Ressemblance entre apparentés :

La notion de parenté est centrale en génétique : des individus génétiquement proches se ressemblent phénotypiquement.

- Permet de décrire la constitution génétique d'une population.
- Permet de décrire la liaison entre 2 individus et de quantifier la ressemblance phénotypique.
- Permet d'estimer la variation phénotypique qui est d'origine héréditaire.

Des individus apparentés partagent une partie de leur génome identique par descendance.

Gènes et phénotypes

- Certains caractères sont déterminés par un ou peu de gènes (monogéniques ou oligogéniques) :

- Couleur des haricots
- Couleur des yeux
- Groupe sanguin
- Résistance qualitative face à un pathogène

- D'autres par de nombreux gènes et des facteurs environnementaux :

Caractères multigéniques (ou polygéniques ou quantitatifs) :

- Taille
- Poids
- Résistance quantitative face à un pathogène.

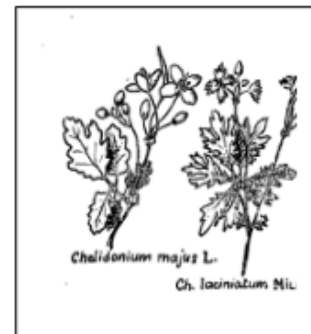
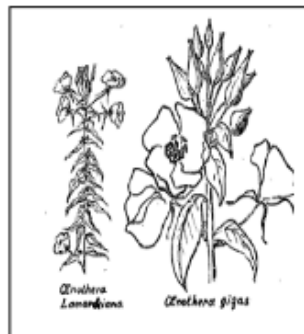
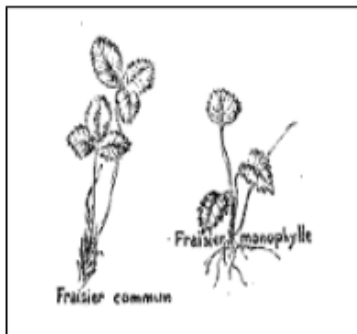
2. Mutation génétique

2.1. Généralité

Un individu appartenant à une lignée pure provient de la conjugaison de deux gamètes ayant le même patrimoine héréditaire et que les gamètes auxquels il donne naissance ont également la même constitution et possèdent donc le même stock de gènes. Un tel individu résultant de la conjugaison de deux gamètes identiques quant aux gènes s'appelle un homozygote. Théoriquement, la descendance d'un homozygote doit être absolument immuable (invariable). Or, ceci n'est pas toujours exact, car, en étudiant la descendance d'homozygotes on constate de temps à autre l'apparition d'un individu aberrant (anormale), pourvu de caractères nouveaux.

L'observation de la descendance de ce nouvel individu montre que, dans certains cas, les caractères nouveaux ainsi créés ne sont pas des anomalies passagères, mais se maintiennent. Il s'agit donc de modifications héréditaires. A ces changements brusques et héréditaires, on donne le nom de mutations. Les individus qui en sont l'objet sont des mutants.

La mutation est donc une modification qui affecte la lignée germinale. Elle s'oppose à la somation, qui est une modification n'affectant que les cellules somatiques, et qui, par conséquent, ne peut être héréditaire.



2.2. Etude des divers types de mutations

2.2.1. Mutations factorielles

Les premières mutations factorielles qui furent observées avaient le caractère d'anomalies spontanées dont la signification demeurerait inconnue. Il s'agissait là de mutations naturelles.

Par la suite, les généticiens remarquèrent que divers agents physiques, notamment la chaleur, les traumatismes, les radiations du radium, les rayons X et aussi certaines substances sont capables de provoquer des mutations.

La question des mutations, devint alors accessible à l'expérimentation.

Nous allons étudier ces deux types de mutations : naturelles et mutations provoquées.

2.2.1.1. Mutation naturelles

a. Exemples

- **La Chélidoine** à feuilles laciniées et du fraisier monophylle. A la suite des travaux classiques poursuivis par. de **VRIES** sur les **Oenothères**, **BAUR** qui consacra de nombreuses années à la génétique du **mufler**, **Antirrhinum majus**, a observé de nombreuses mutations factorielles. En voici quelques exemples :

- le mutant **globifera** possède des fleurs dont les pétales sont réduits à l'état d'écailles, et qui sont en outre dépourvues d'anthères.
- Le mutant **nicotianoides** a des fleurs qui rappellent un peu celles des **Nicotina**.
- Le mutant **crispa** est pourvu de feuilles frisées, présentant des plages dépourvues d'épiderme, et où le tissu palissadique est à nu.
- Le mutant **chloripetala** est pourvu de fleurs dont les pétales ne sont que partiellement soudés.
- D'autres mutations obtenues par **BAUR** portaient sur la couleur des fleurs.
- A partir de la race normale, il obtint la mutation **rubiella**, caractérisée par des fleurs rose pâle, la mutation **carnea** pourvue de fleurs de couleur chair, la mutation **camella**, pourvue de fleurs de teinte chair pâle, et d'autres mutations de teintes diverses.
- En hybridant ces différentes variétés, on peut constater que tous ces caractères de coloration sont allélomorphes deux à deux, et constituent une série d'allèles.

Ces différentes mutations ont donc affecté un gène unique et les divers états allélomorphes de ce gène représentant un cas de polyallélie.

- Signalons comme autre mutation factorielle celle de la Capselle bourse. A pasteur qui offre un mutant curieux, **Capsella viguieri** pourvu de fruits a quatre valves alors que la forme primitive a des fruits bivalves.

□ Le **Maïs** présente également un grand nombre de formes obtenues par mutations spontanées.

□ Citons par exemple le type **silkless** qui est dépourvu de filaments stigmatiques et la variété **ramosa**, dont l'épi conique émet des branches ramifiées qui portent les caryopses.

□ Le **Tabac**, le **Frêne**, le **Noyer** (Son fruit est la [noix](#)), le **Datura**, ont aussi fait l'objet de mutations factorielles.

On connaît également des mutations factorielles chez les végétaux inférieurs, notamment chez les Champignons. BLAKESLEE, en observant. Une lignée pure d'un phycomycète, le

Mucor genevensis, a observé un mutant nain ne produisant pas d'appareils sexuels et une forme levure caractérisée par un mycélium constitué de cellules arrondies analogues à des levures.

b. Mutation d'un seul gène

1- Mutation dominante

2- Mutations récessives

2. 3. Fréquence des Mutations, Gènes mutables, Gènes labiles.

Citons comme exemple de gène labile, celui qui détermine une anomalie du calice des Primevères (le calice de fleur du printemps), connue sous le nom de **calycanthémie**.

Cette anomalie est caractérisée par la présence d'un calice offrant l'aspect d'une corolle.

Citons comme exemple de gène labile, celui qui détermine une anomalie du calice des Primevères (le calice de fleur du printemps), connue sous le nom de **calycanthémie**.

Cette anomalie est caractérisée par la présence d'un calice offrant l'aspect d'une corolle.

□ **La calycanthémie** est due à un gène Cal qui domine le gène cal correspondant au calice normal.

□ La réalisation de ces différents intermédiaires ne résulte pas de simples variations phénotypiques, mais correspond vraiment à des phénomènes génotypiques, car les différents degrés de **calycanthémie** sont héréditaires.

□ Tout se passe donc comme s'il existait toute une série d'allèles correspondant aux différents types de **calycanthémie** et l'on peut expliquer la grande variabilité que l'on observe en admettant que la mutation du gène cal peut fournir un type quelconque de la série d'allèles Cal 1, Cal 2, Cal 3, etc ...

La notion de gène labile signifie que l'état d'un gène peut se modifier continuellement entre certaines limites. D'après ce que nous savons de la nature des gènes, on peut imaginer que les gènes labiles sont l'objet de modifications incessantes de leur constitution chimique.

2.4. Mutations létales, Limitation de l'amplitude des Mutations

De nombreuses mutations se traduisent par des modifications morphologiques ou physiologiques qui sont incompatibles avec la vie.

□ Elles provoquent alors la mort plus ou moins précoce des organismes chez lesquels elles se sont produites. On dit qu'elles sont létales.

Les cas les plus caractéristiques de mutation létale chez les végétaux sont ceux qui concernent les gènes qui président à la formation de chlorophylle.

Ces individus dépourvus totalement de chlorophylle sont incapables de réaliser la synthèse glucidique, aussi meurent-ils après les premières phases de la germination, dès qu'ils ont épuisé les réserves accumulées au cours de la maturation des semences.

- D'autres fois, les gènes létaux empêchent le développement de l'embryon et même celui de l'albumen, si bien que la graine ne parvient même pas à maturité.
- Les mutations létales peuvent, comme les autres mutations, être dominantes ou récessives

2.2.1.2. Mutations provoquées

a)- Généralités

- Les généticiens se sont depuis longtemps demandé quelles pouvaient être les causes des mutations factorielles.
- A priori, on peut prévoir deux types de causes, les unes internes, les autres externes.
- On peut au contraire penser que les mutations factorielles relèvent de causes extérieures.
- Ce sont surtout des agents physiques, notamment la chaleur ou diverses radiations que l'on peut essayer d'utiliser pour provoquer des mutations.

b)- Facteurs déterminant des mutations

1. Chaleur : Des études similaires furent réalisées récemment sur un végétal, *Crepis tectorum*, mais dans ce cas, les mutations observées résultaient d'altérations visibles des chromosomes et ne pouvaient être considérées comme de simples modifications de gènes.

2. Rayons X: Les plantes les plus diverses, des MUCORALES, des HEPATIQUEES, des POLYGONACEES, des ONAGRARIEES, des SOLANEES, etc.... ont servi de matériel d'expériences.

Méthodes permettant d'obtenir des mutations par les Rayons X

Nous allons étudier comme exemple les travaux poursuivis par STADLER sur diverses céréales. Cet auteur irradiait, soit des semences, soit des cellules reproductrices, notamment des grains de pollen. Nous allons examiner ces deux types d'expériences.

Intérêt des mutations provoquées

- La réalisation de mutations expérimentales permet donc, indirectement d'approfondir l'analyse du patrimoine héréditaire des organismes.
- Une seconde application des mutations provoquées consiste dans l'étude de la répartition des gènes dans les chromosomes.
- Cette application résulte de ce que l'action des Rayons X produit souvent des aberrations chromosomiques, par exemple des déficiences dont nous avons déjà parlé à plusieurs reprises.
- Ces anomalies sont très précieuses. Car, ainsi que nous l'avons montré dans la première partie de cet enseignement, leur étude a permis de connaître la répartition des gènes entre les

chromosomes et de compléter en outre les cartes de chromosomes que les recherches d'ordre exclusivement génétique n'avaient pas permis d'établir avec une précision suffisante.

□ L'étude des altérations chromosomiques provoquées par les Rayons X, qu'il s'agisse de modifications de gènes ou du troubles plus profonde ayant le caractère d'aberrations, a donc apporté une contribution très importante à notre connaissance de la structure des chromosomes.

3- Variations chromosomiques

3.1. Généralités

Divers types de mutations chromosomiques

□ La phase sporophytique d'un végétal résulte de l'union de deux gamètes dont chacun apporte habituellement un stock chromosomique haploïde.

□ Nous savons enfin que, si les gamètes mis en présence ont des stocks chromosomiques qui diffèrent, non seulement par la nature de certains gènes, mais aussi par la structure des chromosomes, ou leur nombre, on obtient des hybrides qui ne suivent pas les lois de Mendel (hybrides non mendéliens).

□ Ces constatations nous ont amenés à considérer que la garniture chromosomique haploïde représente une unité morphologique dont la dissociation est biologiquement irréalisable.

□ C'est cette unité que nous avons appelé le génome. Les mutations factorielles que nous venons d'étudier modifient la nature chimique des gènes d'un génome sans changer leur répartition ni leur nombre.

a)- Modification du nombre de chromosomes d'un génome.

□ Il peut s'agir de la perte d'un chromosome. C'est alors un cas de monosomie.

□ Mais ira plus souvent, on constate qu'il existe un ou plusieurs chromosomes surnuméraires. Il s'agit alors d'une polysomie.

□ La formule chromosomique peut être $2n + 1$. Il s'agit alors d'un cas de trisomie, ou $2n + 2$, c'est alors une tétrasomie.

□ La polysomie peut aussi affecter des polyploïdes. On peut rencontrer par exemple le type $4n + 2$ etc ...

b)- Modification dans le nombre ou l'arrangement des gènes dans un génome.

- Ces modifications sont connues généralement sous le nom d'aberrations chromosomiques, notamment lorsque nous avons étudié les processus de linkage et l'établissement des cartes de chromosomes.
- Nous les avons également considérées en étudiant les phénomènes provoqués par les Rayons X, car ceux-ci déterminent non seulement des modifications des gènes, mais aussi des changements dans la structure des chromosomes.
- Lorsque dans un génome, un chromosome a une longueur supérieure à la normale, et possède en trop un fragment de son homologue, il s'agit d'une duplication.
- S'il est plus court on a affaire à une déficience. Souvent la déficience d'un chromosome est compensée par la présence sur un autre chromosome de la partie perdue, si bien que le nombre de gènes du génome est resté constant. Il s'agit alors d'une translocation.
- Enfin, il peut arriver qu'un segment de chromosome soit simplement retourné. Cette dernière aberration s'appelle une inversion.
- Le plus d'intérêt dans le règne végétal. Ce sont les mutations chromosomiques :
1° l'haploïdie, la polyploïdie et la polysomïdie.

4. Incompatibilités et stérilité mâle

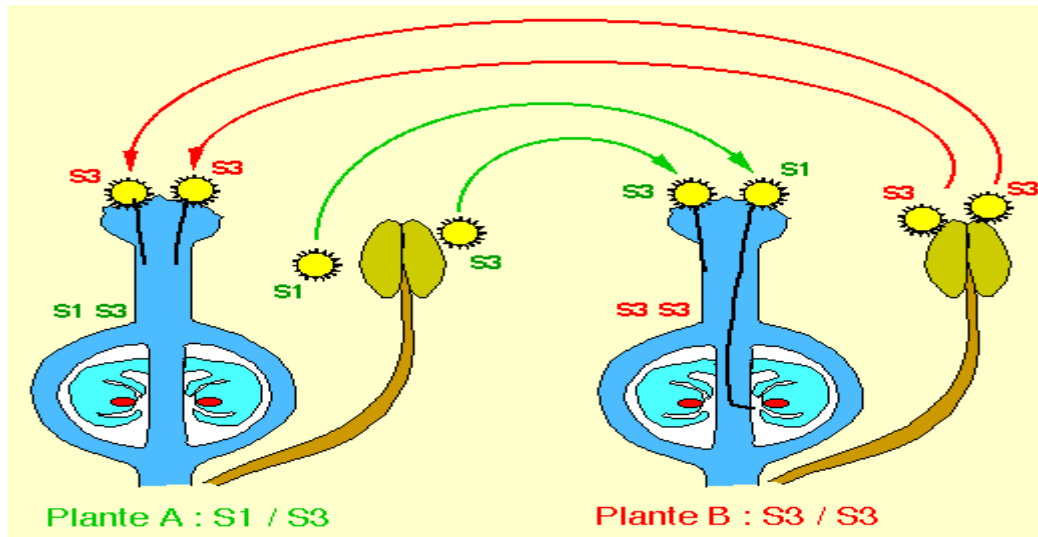
1- Incompatibilités génétiques : Chez beaucoup de plantes qui pourraient, morphologiquement, réaliser au hasard l'autofécondation ou la fécondation croisée, des systèmes d'incompatibilité génétique permettent de favoriser ou même de rendre obligatoire la fécondation croisée. Ces systèmes se situent au niveau de la germination ou du développement du grain de pollen sur le stigmate.

Ces systèmes font appel à des gènes d'incompatibilité (S) existant sous forme de nombreux allèles (S, S₂, S₃, ..., S_x). Ils peuvent être classés en deux processus : l'auto-incompatibilité **gamétique** et l'auto-incompatibilité **sporophytique**.

a. Auto-incompatibilité gamétique

Les plantes hétérozygotes diploïdes disposent pour le gène S de deux allèles. Le pollen, gamétophyte mâle haploïde, ne contient qu'un de ces allèles. Si l'allèle du pollen est le même que l'un des deux allèles de l'ovaire (diploïde) de l'organe femelle, le développement du tube

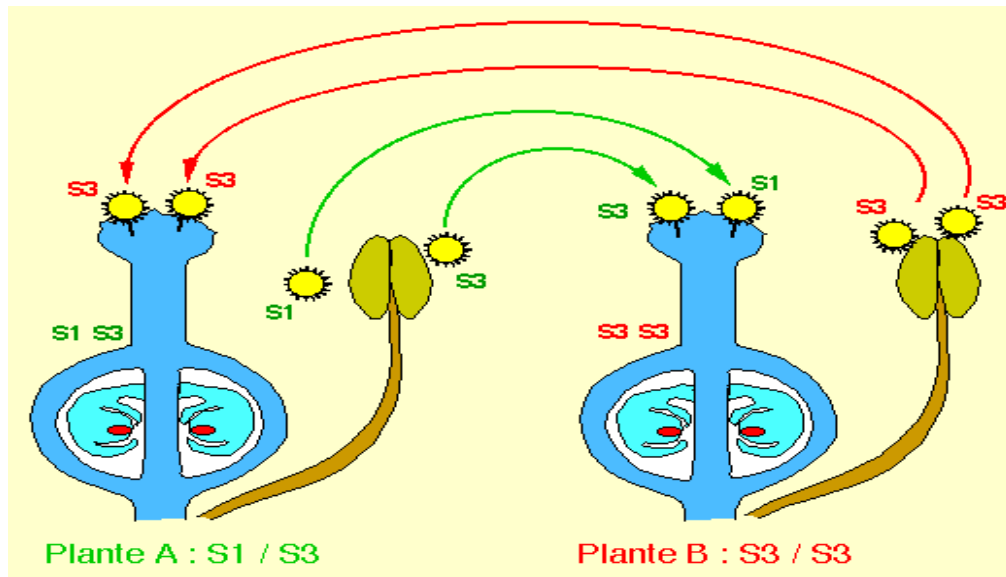
pollinique sera bloqué et la fécondation ne pourra avoir lieu. Dans ce cas, l'autofécondation est impossible. Seule la fécondation entre deux plantes éloignées disposant d'allèles différents est possible. Le schéma ci-dessous montre un cas dans lequel un allèle diffère entre les deux plantes.



La plante A (S1/S3) produit des grains de pollen S1 ou S3. Seul le pollen S1 pourra germer puis féconder la plante B (S3/S3). En revanche, la plante B (S3/S3) ne produit que des grains de pollen S3. Ils ne pourront germer sur la plante A (S1/S3) car l'ovaire diploïde contient l'allèle S3. Ces systèmes sont souvent compliqués car ils dépendent de l'état de développement.

b. Auto-incompatibilité sporophytique :

Les plantes hétérozygotes disposent pour le gène S de deux allèles. Le pollen, gamétophyte mâle haploïde, ne contient qu'un de ces allèles. Mais une partie des composants de sa paroi a été synthétisée par les cellules nourricières du pollen (le tapis) au cours de sa formation. Ces cellules étaient diploïdes et contenaient donc les deux allèles. Si l'un des deux allèles de la plante diploïde qui a généré le pollen est le même que l'un des deux allèles de l'ovaire (diploïde), le développement du tube pollinique sera bloqué et la fécondation ne pourra avoir lieu. Dans ce cas, l'autofécondation est impossible. Seule la fécondation entre deux plantes éloignées disposant d'allèles différents est possible. Le schéma ci-dessous montre un cas dans lequel un allèle diffère.



La plante A (S1/S3) produit des grains de pollen S1 ou S3 qui contiennent dans leur paroi des produits synthétisés par le tapis diploïde et correspondant aux deux allèles S1 et S3. Aucun grain de pollen ne peut germer sur la plante B (S3/S3) car tous contiennent des produits d'origine S3. Il en est de même pour le croisement inverse. Ces systèmes sont souvent compliqués car il existe des phénomènes de dominance entre les allèles du gène S.

2- La stérilité mâle

Chez les plantes cultivées, la stérilité mâle représente un mécanisme important pour faciliter la production de semences hybrides, permettant ainsi aux sélectionneurs d'exploiter les gains de rendements associés à la vigueur hybride. La stérilité mâle peut être soit de type génique (on parle de GMS), soit cytoplasmique (on parle alors de CMS). Cependant, ces systèmes de stérilité ne sont pas figés dans le temps et il est possible de restaurer la fertilité chez ces plantes.

CMS et GMS

Le mécanisme de stérilité mâle, au sens large, a été observé chez plus de 600 espèces végétales. Elle conduit à l'impossibilité pour la plante de produire des anthères déhiscents, du pollen fonctionnel et des gamètes mâles viables, lui évitant ainsi un trop fort taux de consanguinité. Il s'agit d'un phénomène naturellement présent chez un grand nombre d'espèces végétales.

La stérilité mâle chez les plantes inclut deux systèmes différents :

□ **La stérilité mâle cytoplasmique (CMS)** qui est provoquée par une interaction entre des gènes nucléaires et des gènes mitochondriaux. Si cette interaction entre gènes nucléaires et mitochondriaux est interrompue, la plante redevient alors fertile.

□ **La stérilité mâle génique (GMS) qui est causée par des gènes nucléaires uniquement.** Dans certains cas, la GMS peut être réversible en fonction des conditions environnementales (température, durée du jour,...), on parle alors d'EGMS (pour stérilité mâle génique environnement -dépendante).

Les mécanismes génétiques et moléculaires sous-jacents de la stérilité mâle et de la restauration de la fertilité chez les plantes représentent un sujet d'étude important pour la communauté scientifique.

Comment obtenir des plantes portant une CMS ?

La stérilité mâle cytoplasmique peut :

□ **Soit existé naturellement chez une espèce végétale.** C'est le cas de l'oignon, de la carotte ou du radis par exemple ;

□ **soit être transférée à une espèce cultivée par croisement naturel avec une espèce proche chez laquelle la stérilité mâle existe naturellement ;**

□ **soit être induite au laboratoire chez une espèce cultivée,** à partir d'une stérilité mâle provenant d'une espèce de la même famille avec laquelle l'espèce cultivée ne se croise pas de façon naturelle. **Cela se fait en utilisant une biotechnologie : la fusion de protoplastes.**

Les protoplastes (des cellules végétales dont la paroi pectocellulosique a été enlevée par digestion enzymatique) possèdent la capacité de fusionner entre eux lorsqu'ils sont placés dans un milieu approprié. Cette technique permet de surmonter les barrières liées à la reproduction sexuée et de créer de nouvelles combinaisons entre le noyau et le cytoplasme.

Cette biotechnologie a été utilisée pour introduire la stérilité mâle chez l'endive (à partir d'une CMS du tournesol) ou encore chez les choux et le colza (la CMS provenant du radis).

A l'inverse, la fusion de protoplastes peut également être utilisée pour restaurer la fertilité chez des plantes mâle-stériles.

Quel est l'intérêt de la stérilité mâle en sélection ?

La stérilité mâle est également un outil précieux pour les sélectionneurs, qui leur permet d'exploiter la vigueur hybride (ou hétérosis), ce qui représente un enjeu économique important. Par exemple, plus de la moitié de la production des espèces de grandes cultures (maïs, riz, sorgho, colza, tournesol) provient de variétés hybrides.

Les lignées femelles CMS ou GMS utilisées par les sélectionneurs dans leurs plans de croisements pour l'obtention de variétés hybrides leur évitent d'avoir recours à des castrations

manuelles, mécanisées ou chimiques, qui sont coûteuses, parfois inefficaces, voire polluantes pour l'environnement (Figure 2).

La stérilité mâle cytoplasmique

