

Pourquoi et comment des variétés hybrides en amélioration des plantes ?

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 01.04.Q03

2021, révisée en novembre 2024

Mots clés : dépression consanguinité, hétérosis, vigueur hybride, hybridation, semence

En amélioration des plantes, une variété hybride résulte en général du croisement de deux lignées pures, l'une prise comme femelle, l'autre prise comme mâle. Ces améliorations sont développées chez de nombreuses plantes cultivées dès qu'il est possible de les produire de façon économique à grande échelle.

Pourquoi se sont-elles développées, qu'apportent-elles à l'utilisateur et au sélectionneur ? Et comment sont-elles obtenues ?

La recherche d'une homogénéité et la vigueur hybride

Chez les plantes à fécondation croisée, les populations naturelles sont formées par un mélange d'individus génétiquement différents ; la sélection à l'intérieur de ces populations conduit à des variétés-populations hétérogènes, qui sont difficiles à utiliser par l'agriculteur car elles ne permettent pas des interventions de l'agriculteur au bon stade pour toutes les plantes. Par exemple, chez le maïs, si toutes les plantes ne sont pas de la même précocité, il y aura des pertes à la récolte du fait de sur-maturité de certaines plantes et de la non-maturité d'autres. Il en est de même pour les traitements contre les maladies ou certains insectes, et aussi pour l'apport de la fumure azotée.

Pour gagner en homogénéité génétique, on a cherché à faire des lignées pures¹ par autofécondations successives, c'est-à-dire reproduction d'un individu avec lui-même pendant plusieurs générations, comme cela est réalisé chez les plantes qui s'autofécondent naturellement (exemples : le blé, la tomate)

Mais il en est résulté une perte de vigueur importante, appelée *dépression de consanguinité*, phénomène bien connu chez tous les organismes à fécondation croisée. En effet, la consanguinité (ou reproduction entre individus apparentés) augmente la probabilité d'apparition de tares. Dans l'espèce humaine, celles-ci étaient fréquentes chez les pharaons égyptiens qui se mariaient entre demi-frère et demi-sœur, voire entre frère et sœur, comme les parents de Toutankhamon ; ce phénomène a conduit à la prohibition de l'inceste dans la plupart des sociétés humaines.

A l'inverse, la reproduction entre individus non apparentés masque les gènes responsables de ces tares ; ainsi, chez les plantes, le croisement entre les lignées obtenues par autofécondation conduit à un gain de vigueur appelé *vigueur hybride* ou *hétérosis* (Figure 1).

D'une certaine façon, on peut dire que dans la population humaine, chaque individu est un hybride.

La recherche des meilleures performances

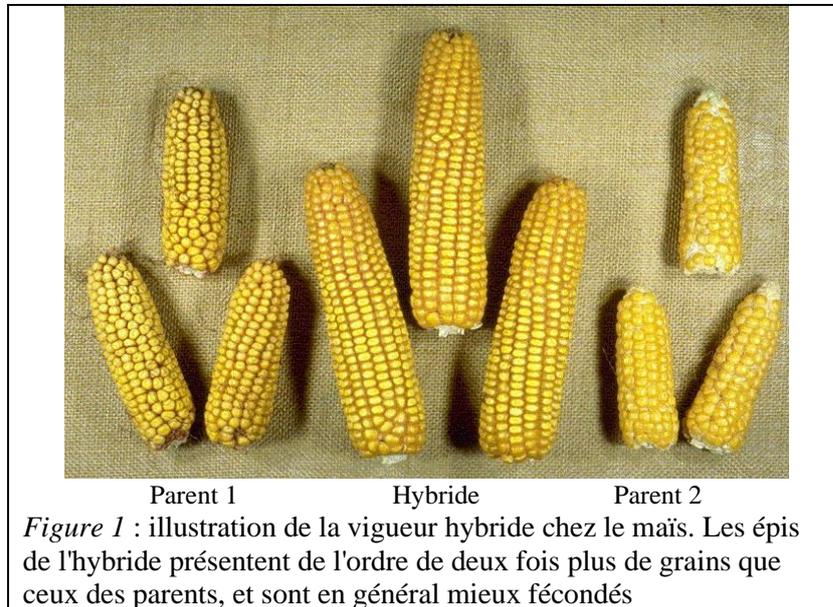
La sélection de populations formées d'un mélange de génotypes, ne permet pas d'atteindre les meilleures performances possibles : un tel mélange ne peut pas être aussi performant qu'une variété formée par le meilleur constituant de ce mélange. L'idéal est donc de reproduire le meilleur génotype d'une population.

Dès 1910, Shull en a montré la possibilité grâce à la démarche :

¹ Une lignée pure est formée d'individus, dits homozygotes, tous identiques entre eux, qui par autofécondation se reproduisent de façon identiques à eux-mêmes.

- d'abord création des lignées par autofécondation,
- puis croisement de ces lignées entre elles pour obtenir une série d'hybrides parmi lesquels le sélectionneur choisira le meilleur pour en faire une variété.

Les hybrides ainsi obtenus sont alors homogènes et vigoureux, et peuvent atteindre les meilleures performances. De plus, comme on peut réunir chez les parents-lignées différents gènes d'adaptation au milieu, ils montrent en général une adaptation à des milieux variés bien meilleure que celle des parents. Et comme les parents-lignées peuvent être maintenus identiques à eux-mêmes, l'hybride sera reproductible par multiplication des parents, et leur croisement pour produire les semences de l'hybride.



C'est avec un tel schéma que les premières variétés hybrides de maïs sont apparues dès 1930 aux USA, puis ont commencé à se développer en France vers 1955. Aujourd'hui, toutes les variétés de maïs sont des variétés hybrides, et ce type de variétés tend à se développer chez toutes les espèces à fécondation croisée, dès que le contrôle de l'hybridation à grande échelle est résolu (voir ci-dessous).

Il est aussi possible de faire des hybrides avec des parents qui ne sont pas des lignées pures ; ainsi :

- chez l'asperge, il existe des hybrides où les parents sont des clones, obtenus par multiplication végétative ;
- chez la betterave sucrière, on a réalisé pendant longtemps des hybrides entre populations ou familles plus ou moins hétérogènes ; aujourd'hui les variétés tendent à être des variétés proches des hybrides entre lignées comme chez le maïs.

Cependant, les hybrides avec des parents qui ne sont pas des lignées ne permettent pas d'atteindre les meilleures performances et ils peuvent présenter une certaine hétérogénéité génétique.

Le cumul de gènes dominants favorables

Chez les plantes qui s'autofécondent naturellement, donc peu sensibles à la consanguinité (blé, tomate...), on développe souvent des variétés-lignées pures, depuis les travaux de Louis de Vilmorin en 1865. Cependant, même chez ces plantes, les variétés hybrides peuvent être justifiées :

- parce que le croisement entre lignées non apparentées permet de sélectionner des hybrides plus vigoureux que les meilleures lignées, le phénomène d'hétérosis existant aussi chez ces espèces, même s'il est moins fort que chez les plantes qui s'intercroisent naturellement ;
- et surtout parce que l'hybridation de deux lignées permet de réunir facilement dans un même génotype des gènes dominants² favorables présents chez les deux parents.

Ainsi, chez la tomate, on connaît plus d'une quinzaine de gènes dominants de résistance à différentes maladies ; si deux parents sont complémentaires pour ces gènes de résistances, par exemple, cinq gènes chez l'un et cinq gènes chez l'autre, l'hybride cumulera les 10 gènes de résistances, alors que la chance d'obtenir

² à un locus donné, sur le chromosome, un gène dominant est un gène qui masque l'effet d'un autre gène (dit récessif).

ces dix gènes dans une même lignée par croisement suivi de sélection, est extrêmement faible (moins d'une chance sur 100 000). C'est pourquoi, chez la tomate, les variétés hybrides ont été commercialisées dès 1927 par un établissement de sélection allemand (Benary), avant même la commercialisation à grande échelle des variétés hybrides chez le maïs aux USA.

Cet exemple permet de revenir au mécanisme de la vigueur hybride : la vigueur des hybrides par rapport aux lignées résulte essentiellement du masquage de gènes récessifs défavorables (dont les tares) par des gènes dominants favorables.

Un problème pour la production des variétés hybrides : le contrôle de l'hybridation à grande échelle

Pour produire une variété hybride, seule la lignée parentale choisie comme mâle doit féconder la lignée parentale choisie comme femelle : il faut donc empêcher toute autre fécondation. La solution est de castrer les fleurs de la lignée femelle, ce qui évite les autofécondations, et ceci en isolement pour éviter les fécondations par un autre pollen que celui de la lignée mâle ; on peut avoir recours à quatre méthodes :

- **La castration strictement manuelle** est encore utilisée chez la tomate et le riz en Chine.
- **La castration mécanique** est largement utilisée chez le maïs, qui s'y prête bien : avec la séparation sur chaque plante des fleurs mâles au niveau de la panicule terminale, et des fleurs femelles au niveau de l'épi, il est possible de supprimer mécaniquement les panicules sur les lignées prises comme femelles ; c'est d'ailleurs cette facilité de castration qui explique le développement rapide des variétés hybrides chez le maïs.
- **La castration chimique**, réalisée chez le blé, est une méthode délicate : chez les lignées prises comme femelles, il faut tuer les gamètes mâles (le pollen) sans toucher à la qualité des gamètes femelles (les ovules) ; cette difficulté est un frein au développement des variétés hybrides chez le blé qui ne représentent aujourd'hui qu'un faible pourcentage des surfaces totales en blé.
- **La castration génétique**, qui est la méthode idéale, maintenant développée chez de nombreuses espèces. Elle fait intervenir à la fois :
 - un cytoplasme particulier qui entraîne la stérilité mâle des lignées avec ce cytoplasme ;
 - des gènes de maintien de la stérilité de ces lignées, pour permettre leur multiplication ;
 - et des gènes de restauration de la fertilité (présents chez le parent mâle), nécessaires seulement si le but est de produire des grains avec la variété hybride.

Mais si, les hybrides sont fertiles !

Contrairement à ce qu'il est parfois dit ou écrit, les hybrides sont fertiles et donnent une descendance chez les espèces cultivées pour produire des grains ; toutefois, pour les cas de castration génétique, un certain pourcentage de plantes se révèle stérile.

Un inconvénient pour l'agriculteur : la nécessité de renouveler les semences

Les variétés hybrides ont deux inconvénients majeurs pour l'agriculteur :

- Si celui-ci resème les graines qu'il récolte³ sur une variété hybride (la descendance d'un hybride n'étant pas stérile), il perd en vigueur (cas du maïs) et obtient une population très hétérogène⁴, avec des plantes sensibles aux maladies auxquelles l'hybride était pourtant résistant (cas de la tomate). Dans le cas du maïs, il peut ainsi perdre de l'ordre de 20 % à 30 % du rendement s'il utilise des semences de ferme (*Figure 2*).

L'intérêt de l'agriculteur est donc de renouveler ses semences, afin d'avoir une bonne production ou une population homogène avec toutes les plantes résistantes aux maladies, ou de même précocité.

- Mais les semences à hybrides sont plus coûteuses que les semences non-hybrides, il faut accepter de payer plus cher. Ceci permet à l'obteneur de la variété d'amortir ses investissements dans la recherche,

³ On parle alors de "semences de ferme"

⁴ du fait des disjonctions à un locus entre les deux variantes des gènes (allèles) présentes chez l'hybride, selon les lois de Mendel.

et ainsi de financer le progrès génétique qui peut continuer : le progrès génétique n'est en effet pas gratuit, aussi faut-il le financer.

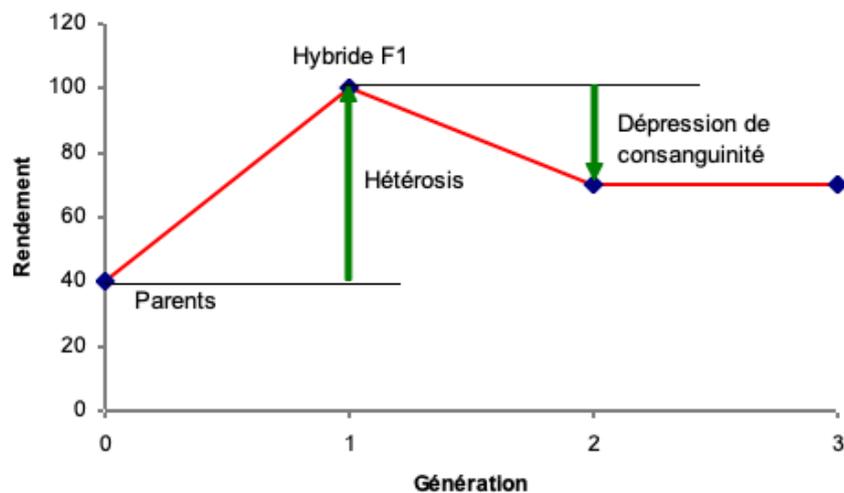


Figure 2 : illustration, chez le maïs, du gain de vigueur (hétérosis) des parents à l'hybride F1 et de la perte de vigueur (dépression de consanguinité) en multipliant les semences récoltées sur l'hybride. La perte de rendement est en moyenne la moitié de l'hétérosis, soit 30 % dans l'exemple pris. Chez le maïs, plante à fécondation croisée, si on multiplie encore les graines récoltées, le niveau moyen de rendement ne change pas.

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

novembre 2021

Ce qu'il faut retenir :

Les variétés hybrides entre lignées se sont développées chez de nombreuses plantes pour obtenir des variétés homogènes et à bon rendement ; leur vigueur est le résultat du cumul, dans un même génotype, de nombreux gènes dominants favorables.

Ces variétés peuvent être produites par différents systèmes de castration, dont la castration génétique.

Elles sont fertiles et peuvent être reproduites par l'agriculteur, mais alors celui-ci perd en performance et obtient une population hétérogène. Il a donc intérêt à renouveler ses semences, ce qui contribue à financer le progrès génétique.

Pour en savoir plus :

- André GALLAIS : *Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes*, Éditions Quae, 2009