

**Savoir**  
faire

# Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes

André Gallais



éditions  
**Quæ**



# Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes

André Gallais

Éditions Quæ

## Collection *Savoir-faire*

Bio-informatique. Principes d'utilisation des outils  
Denis Tagu, Jean-Loup Risler, coord.  
2010, 280 p.

Nutrition minérale des ruminants  
François Meschy  
2010, 212 p.

La gestion du trait de côte  
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer  
2010, 304 p.

Évaluation économique de la biodiversité. Méthodes et exemples pour les forêts tempérées  
Élodie Brahic, Jean-Philippe Terreaux  
2009, 200 p.

Le campagnol terrestre : prévention et contrôle des populations  
Pierre Delattre, Patrick Giraudoux, coord.  
2009, 304 p.

Éditions Quæ  
RD 10, 78026 Versailles Cedex, France

© Éditions Quæ, 2011

ISBN 978-2-7592-1658-1

ISSN 1952-1251

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Sommaire

---

<b>Avant-propos</b> .....	9
<b>Remerciements</b> .....	13
<b>Chapitre 1. De la domestication à l'amélioration actuelle des plantes</b> .....	15
La domestication .....	15
L'évolution des populations cultivées .....	16
L'homogénéisation des variétés : rançon et facteur du progrès génétique .....	18
Intérêt de l'homogénéisation des variétés .....	18
L'amélioration des plantes : science de la création de variétés .....	20
Les progrès réalisés et leurs bases génétiques .....	21
Importance et nature des progrès .....	21
Bases génétiques des progrès réalisés .....	22
L'évolution des méthodes de sélection et la place des outils .....	23
Passage de la sélection phénotypique à la sélection génotypique .....	23
Rôle et place des outils disponibles .....	24
<b>Chapitre 2. Types de variétés en amélioration des plantes</b> .....	27
Ce que représente une variété .....	27
Définition d'une variété en amélioration des plantes .....	27
L'inscription au catalogue des variétés .....	28
Protection de la propriété intellectuelle d'une nouvelle variété .....	28
La certification des semences et des plants et la sélection conservatrice .....	29
Les différents types de variétés .....	31
Les variétés populations .....	31
Les variétés lignées .....	32

Les variétés hybrides .....	34
Les variétés synthétiques .....	44
Les variétés clones ou leur équivalent .....	47
Le choix du type variétal .....	49
Considérations génétiques et biologiques .....	49
Considérations économiques .....	51
<b>Chapitre 3. Utilisation du rétrocroisement .....</b>	<b>55</b>
Introduction .....	55
But et historique de la méthode du rétrocroisement .....	55
Définition d'un gène majeur .....	56
Identification du gène introduit .....	58
Le rétrocroisement phénotypique .....	59
Le déroulement d'un programme de rétrocroisement .....	59
Évolution de l'isogénicité .....	62
Cas particuliers de rétrocroisements .....	64
Bilan de la méthode du rétrocroisement .....	68
Le rétrocroisement assisté par marqueurs .....	69
Le rétrocroisement pour un gène marqué .....	69
Le rétrocroisement pour des segments chromosomiques .....	71
<b>Chapitre 4. La sélection généalogique et la création de variétés lignées pures .....</b>	<b>79</b>
Éléments généraux .....	79
Effet de la sélection dans les populations autogames non sélectionnées .....	79
Modes d'obtention de l'homozygotie .....	80
Nature des croisements de départ .....	83
La sélection généalogique pendant la phase de fixation .....	84
Principe .....	84
Réalisation pratique .....	85
Avantages et inconvénients de la sélection pendant la phase de fixation .....	89
Méthodes de sélection généalogique après fixation .....	90
Méthode des <i>bulks</i> .....	90
La filiation unipare ou <i>single-seed descent</i> (SSD) .....	94
Méthode avec haplodiploïdisation .....	96
L'optimisation de la sélection avec un grand nombre de lignées .....	101
Comparaison expérimentale des méthodes .....	101

Choix des parents et prédiction des meilleurs croisements .....	102
Principes généraux .....	102
Prédiction de la moyenne .....	104
Prédiction de la variance .....	104
Conclusion .....	105
La sélection généalogique assistée par marqueurs .....	105
Maintien et production des variétés lignées pures .....	107
La fixation finale des lignées .....	107
La production des variétés lignées .....	107
<b>Chapitre 5. Création de variétés hybrides</b> .....	111
Principe de la création des variétés hybrides .....	111
Les hybrides entre populations et les groupes hétérotiques .....	111
L'idée de Shull .....	112
Du concept à l'application .....	114
Principaux schémas de création des variétés hybrides .....	123
Sélection généalogique pour l'aptitude à la combinaison avec un testeur .....	123
Sélection généalogique réciproque pour l'aptitude à la combinaison .....	128
La prédiction de la valeur des croisements entre lignées .....	131
Le contrôle de l'hybridation à grande échelle et la production de semences .....	133
Un cas favorable : la dioécie .....	134
La castration manuelle .....	134
L'auto-incompatibilité .....	136
Le contrôle chimique de l'hybridation .....	138
La stérilité mâle génique .....	139
La stérilité mâle nucléo-cytoplasmique .....	142
La constitution de groupes hétérotiques .....	145
Comment structurer en groupes hétérotiques ? .....	145
La gestion de la variabilité génétique à long terme .....	146
L'inscription au catalogue des variétés hybrides et leur sélection conservatrice .....	147
<b>Chapitre 6. Les variétés synthétiques</b> .....	149
Prédiction et évolution de la vigueur des variétés synthétiques .....	149
Approche théorique simplifiée .....	149
Résultats expérimentaux .....	153

Base optimale d'une variété synthétique .....	156
La sélection des parents d'une variété synthétique .....	157
Maintien et production d'une variété synthétique .....	159
Maintien d'une variété synthétique .....	159
Le problème du contrôle des variétés synthétiques .....	160
<b>Chapitre 7. L'organisation de la récurrence dans la création variétale</b> .....	163
Bilan de la sélection généalogique .....	163
Les bases d'une stratégie intégrée de la sélection et de la création variétale .....	164
Formulation générale du problème de la création variétale .....	164
Stratégie intégrée de la sélection, des ressources génétiques à la création de variétés .....	166
La structure d'un cycle de sélection récurrente .....	170
Classification des méthodes de sélection récurrente .....	171
Éléments généraux sur la réponse à la sélection .....	172
Les principaux schémas de sélection récurrente .....	174
Méthodes d'amélioration de la valeur propre et de l'AGC des populations .....	174
Méthodes de sélection récurrente en vue de la création de lignées .....	183
La sélection en vue de la création de variétés hybrides .....	187
Utilisation de la stérilité mâle en sélection récurrente .....	195
Sélection massale avec stérilité mâle .....	196
Sélection sur descendances $S_1$ .....	196
Sélection sur la valeur en combinaison avec un testeur .....	197
Conclusions .....	197
Choix d'une méthode de sélection récurrente .....	197
Une autre conception de la sélection récurrente .....	199
<b>Chapitre 8. La création variétale chez les espèces autopolyploïdes</b> .....	203
Définitions .....	203
Autopolyploïdes et allopolyploïdes .....	203
Terminologie pour les génotypes .....	204
La méiose et les disjonctions chez les autopolyploïdes .....	205
La création de lignées .....	208
Difficulté d'obtention de l'homozygotie .....	208
Manifestation de la dépression de consanguinité au cours de l'autofécondation .....	208



La création de variétés hybrides .....	210
Moyenne des différents types d'hybrides entre lignées homozygotes ....	210
Moyenne des hybrides simples entre familles consanguines .....	212
Base génétique optimale des hybrides .....	212
La multiplication des hybrides .....	214
La création de variétés synthétiques .....	214
La création de variétés clones .....	216
La sélection récurrente chez les espèces autopolyploïdes .....	216
Les tétraploïdes artificiels .....	217
<b>Chapitre 9. La sélection assistée par marqueurs pour des caractères quantitatifs</b> .....	219
Le principe de la prédiction des valeurs génétiques par les marqueurs moléculaires .....	220
La sélection récurrente combinée « phénotype + marqueurs » .....	220
Principe .....	220
Gain en efficacité .....	222
Optimisation des moyens : prise en considération du coût du marquage .....	225
Conclusion .....	225
La sélection récurrente sur marqueurs seuls .....	225
Principe .....	225
La sélection sur marqueurs seuls avec intercroisement au hasard .....	226
La sélection sur marqueurs seuls avec croisements par paires .....	228
Conclusion .....	229
L'alternance de sélection combinée « phénotype + marqueurs » et de sélection sur marqueurs seuls .....	230
Augmentation de l'efficacité de la sélection assistée par marqueurs .....	231
L'utilisation de dispositifs multiparentaux .....	231
La combinaison de l'haplodiploïdisation et des marqueurs moléculaires .....	231
La sélection génomique .....	232
Conclusion .....	234
<b>Annexe 1. Quelques notions de génétique et d'amélioration des plantes pour mieux comprendre</b> .....	237
Notions de génétique .....	237
Les constituants cellulaires et leur rôle .....	237

Gènes et allèles .....	238
Génotype, homozygotie et hétérozygotie .....	238
Notion de dominance et de récessivité .....	239
Le passage du gène au caractère .....	239
Notions de génétique des populations .....	239
Population .....	239
Fréquence d'un génotype .....	239
Fréquence d'un allèle .....	240
Notion de valeur sélective d'un génotype .....	240
Structure d'une population panmictique .....	240
Déséquilibre de liaison dans une population panmictique .....	241
Notions de génétique quantitative .....	241
Valeur phénotypique et valeur génotypique .....	241
Additivité des effets génétiques, effets de dominance .....	241
Épistasie .....	242
Variances d'additivité, de dominance .....	243
Héritabilité au sens large et héritabilité au sens étroit .....	244
La détection de QTL .....	245
Systèmes de reproduction chez les plantes .....	245
Le phénomène d'hétérosis .....	248
Le mécanisme de la superdominance .....	248
Le mécanisme de la dominance des gènes favorables .....	249
Pseudo-superdominance .....	249
Hétérosis infixable et hétérosis fixable .....	249
<b>Annexe 2. Détermination de l'intensité de sélection .....</b>	<b>251</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>253</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>263</b>
<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>273</b>
<b>Index .....</b>	<b>275</b>

# Avant-propos

---

L'amélioration des plantes peut être définie comme l'art et la science de la création de variétés de plantes répondant de mieux en mieux aux besoins de l'Homme. D'un point de vue génétique, il s'agit de réunir dans un même génotype, ou groupe de génotypes, la variété, le maximum de gènes favorables. Pour mettre en œuvre ce processus d'amélioration, le sélectionneur doit répondre à plusieurs questions importantes :

- quel type de variétés et quelle méthode de sélection choisir ?
- quels critères de sélection retenir ?
- quelles ressources génétiques utiliser ?

Cet ouvrage est conçu pour aider à répondre à la première question qui concerne à la fois le choix d'un type de variétés et celui de la méthode de sélection pour le type de variétés choisi. Le but est de présenter assez simplement toutes les méthodes de sélection importantes pour la création de variétés, en y intégrant deux outils de plus en plus utilisés, à savoir l'haplodiploïdisation et les marqueurs moléculaires. Certains aspects biologiques importants à considérer, comme les systèmes de reproduction et l'hétérosis, sont évoqués mais ne sont pas développés. De même, les outils pour créer une nouvelle variabilité génétique, comme la mutagenèse et la transgénèse, ne font l'objet d'aucun développement. Je suppose en fait que le sélectionneur est face à un matériel végétal à améliorer et qu'il cherche à savoir quelle méthode de sélection et de création variétale il doit utiliser, compte tenu de certaines caractéristiques biologiques de l'espèce, comme par exemple l'importance de la dépression de consanguinité, et de la disponibilité ou non de l'haplodiploïdisation et du marquage moléculaire.

Nous montrons d'abord que la sélection à l'intérieur des espèces domestiquées a conduit à une diminution de la variabilité génétique présente dans le champ de l'agriculteur. Le développement d'une sélection « scientifique » à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle a très rapidement conduit à des populations plus ou moins homogènes, appelées variétés (Chapitre 1). Nous montrons dans le chapitre 2 ce qu'est une variété et quelle est la justification des principaux types de variétés (variétés populations, lignées pures, hybrides, variétés synthétiques et clones). Le but de l'amélioration des plantes est alors de réunir dans une même variété le maximum de gènes favorables. La méthode d'amélioration la plus simple sur le plan génétique est la méthode du rétrocroisement ; elle consiste à transférer par croisements un gène d'un génotype dans un autre génotype, ce qui est envisagé dans le chapitre 3.

Pour les caractères complexes, polygéniques, la méthode de sélection doit tenir compte du type de variétés. C'est pourquoi l'ouvrage consacre ensuite un chapitre à la sélection de chacun des principaux types actuels de variétés (lignées pures, hybrides et variétés synthétiques). Le cas des variétés clones ne fait pas l'objet d'un chapitre spécifique ; des éléments relatifs aux variétés clones et à leur sélection (chez les espèces où la multiplication végétative à grande échelle est possible) sont abordés dans différents chapitres. Les problèmes les plus importants de la sélection des variétés clones ne sont pas des problèmes génétiques – c'est même le type de variétés le plus simple à sélectionner – mais le plus souvent des problèmes d'ordre sanitaire, du fait de la présence de virus. De même, il n'y a pas un chapitre particulier sur les variétés populations, mais l'amélioration des populations, qui peut conduire directement à ce type de variétés est largement détaillée dans un chapitre spécifique. Pour la sélection des variétés lignées et des variétés hybrides nous verrons plus particulièrement ce que la maîtrise de l'haplodiploïdisation peut apporter. Les problèmes liés au maintien et à la production de chaque type de variétés sont également abordés.

Nous montrons ensuite comment la sélection doit être organisée pour avoir le progrès génétique le plus important, à la fois à court et à long terme. Cela débouche sur la gestion de la variabilité génétique au cours de la sélection, dont la sélection récurrente conventionnelle, appliquée au niveau de populations, chez les plantes allogames, n'est qu'un aspect. Compte tenu de l'importance économique de certaines plantes autopolyploïdes, les particularités introduites par l'autopolyploïdie sont sommairement traitées dans un chapitre spécifique. Enfin nous considérons ce que les marqueurs moléculaires peuvent apporter à la sélection et la création de variétés, c'est-à-dire une meilleure utilisation de la variabilité génétique et une augmentation du progrès génétique par unité de temps. Ils ouvrent clairement une nouvelle ère de la sélection, la sélection génomique.

À une époque où le développement spectaculaire de la biologie moléculaire et des biotechnologies a contribué à diminuer l'importance de l'enseignement des méthodes conventionnelles d'amélioration des plantes, une telle présentation de l'ensemble des méthodes de sélection et de création de variétés m'est apparue justifiée. En effet, il n'existe pas d'ouvrages récents rassemblant toutes les méthodes de sélection pour les différents types de variétés, bien que mon ouvrage publié en 2009, *Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes*, traite de la sélection et de la création des variétés hybrides, mais seulement des variétés hybrides. De plus, ces méthodes conventionnelles ne sont nullement dépassées ; elles sont toujours nécessaires, car les principes de gestion et d'utilisation de la variabilité génétique restent les mêmes et les nouveaux outils issus de la biologie moléculaire, de la génomique et des biotechnologies sont plutôt à intégrer dans les méthodes conventionnelles pour en augmenter l'efficacité.

Il ne s'agit pas d'un ouvrage théorique ; j'ai surtout voulu montrer les différents schémas de sélection possibles compte tenu du type de variétés à développer... mais aussi donner les éléments du raisonnement à faire (sans en donner les développements théoriques). Certains détails sont toutefois donnés dans des encadrés. Pour plus de développements théoriques, en particulier sur les raisonnements

relevant de la génétique quantitative et de la théorie de la sélection, je renvoie le lecteur à d'autres ouvrages. De même je n'ai pas voulu donner trop de résultats expérimentaux, sauf pour illustrer certains aspects nouveaux, comme l'efficacité de la sélection assistée par marqueurs.

Cet ouvrage s'adresse à plusieurs catégories de lecteurs :

- d'abord aux techniciens et ingénieurs de la sélection végétale. J'espère qu'ils y trouveront des éléments pour compléter leur formation et pour les aider à prendre des décisions relatives à l'organisation de leurs schémas de sélection, avec l'intégration des outils modernes comme l'haplodiploïdisation et les marqueurs moléculaires ;
- aux techniciens et ingénieurs de la production de semences, qui y trouveront des éléments pour mieux situer leur activité dans la chaîne continue qui va de la sélection à la distribution de la variété à l'agriculteur, mais aussi pour mieux comprendre les bases biologiques et génétiques des contraintes techniques de la production de semences et leur importance ;
- aux étudiants en amélioration des plantes, qui pourront être confrontés plus tard en tant que sélectionneurs au choix d'une méthode de création de variétés ; les étudiants en production de semences y trouveront des éléments pour compléter leur formation en sélection ;
- mais aussi aux enseignants en amélioration des plantes et production de semences ainsi qu'aux chercheurs en génétique et amélioration des plantes, qui pourront y trouver des éléments, les uns pour illustrer leur enseignement et les autres pour situer l'impact de leur activité au niveau des méthodes de sélection.

Enfin, j'espère que toute personne, avec un minimum de culture biologique et génétique, qui se pose des questions sur les méthodes de création de variétés en amélioration des plantes, pourra y trouver des réponses. Dans ce but, une annexe détaillée donne les éléments essentiels pour la compréhension des différentes notions qui sont utilisées et un glossaire donne une définition simple de chaque terme un peu spécifique d'un sujet.



# Remerciements

---

J'adresse d'abord tous mes remerciements aux étudiants de l'Ina P-G (AgroParis-Tech maintenant) qui, par leurs questions, leurs réactions, m'ont aidé à préciser le contenu de cet ouvrage.

Je remercie également mes anciens collègues enseignants d'AgroParisTech, Alexandrine Maurice, Philippe Brabant et Jean-Pierre Henry, qui ont contribué avec moi-même à l'enseignement de l'amélioration des plantes et ont ainsi, directement ou indirectement, apporté quelques pierres à la conception de cet ouvrage.

Je suis particulièrement reconnaissant envers les établissements de sélection et les organismes liés aux semences qui ont participé à mon enseignement, essentiellement en acceptant d'organiser des visites ou de faire des conférences pour mes étudiants en amélioration des plantes : C.C. Benoist puis Syngenta, Clause-Semences, DLF, Eurodur, Florimond-Desprez, Hybrinova puis Saaten-Union, Limagrain, Secobra, Semences de Provence, Tézier, Ucopac (maintenant Verneuil Semences, LVH), Vilmorin, le Géves, le Gnis.

Un grand merci aux lecteurs du manuscrit, André Charrier et Henri Feyt, qui ont bien voulu accepter une lourde tâche de lecture et me faire part des imperfections du premier texte tant sur le fond que sur la forme, avec des propositions concrètes d'amélioration ; j'ai essayé de tenir compte le plus possible de leurs observations et suggestions.

Enfin, toute ma gratitude va aux établissements et organismes qui ont bien voulu participer aux frais d'édition de l'ouvrage (voir la liste ci-après). Leur soutien est, de leur part, une nouvelle contribution à l'enseignement de l'amélioration des plantes, puisque, en permettant d'abaisser le prix de l'ouvrage, celui-ci sera plus accessible à de nombreux étudiants, enseignants, ingénieurs et chercheurs intéressés par les semences et l'amélioration des plantes.

*André Gallais*

## **Organismes ou établissements ayant contribué à l'édition de l'ouvrage**

Département de Génétique et d'amélioration des plantes de l'Inra

Agri-Obtentions

Euralis Semences

Florimond-Desprez

Gautier Semences

Gnis

Institut technique de la betterave

Groupe Limagrain

Maïsadour Semences

Momont-Hénette

Organisation bretonne de sélection

RAGT-R2n

Saaten-Union France

Sakata Seeds

Secobra Recherches

Syngenta Agro

Technisem

Terre de lin

Unisigma



# 1

## De la domestication à l'amélioration actuelle des plantes

---

*L'amélioration des plantes peut être définie comme la modification de certains de leurs caractères pour qu'elles répondent de mieux en mieux aux besoins de l'Homme. Elle a commencé avec la domestication, et s'est poursuivie essentiellement à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par l'amélioration dirigée des plantes, intégrant de plus en plus dans ses méthodes et ses outils les progrès des connaissances. Aujourd'hui, l'amélioration des plantes est devenue la science et l'art de la création de variétés ayant des caractères bien définis.*

### La domestication

La domestication des plantes, au sens restreint du terme<sup>1</sup>, peut être définie comme leur adaptation par l'Homme, de manière « inconsciente », à ses besoins. Elle a débuté au néolithique, il y a environ 10 000 ans, lorsque l'homme est passé de l'état nomade, vivant de la cueillette et de la chasse, à l'état sédentaire, vivant d'une agriculture assez rudimentaire. C'est l'alternance des cycles semis-récolte, associée pendant des milliers de générations aux pressions de sélection exercée tant par les agriculteurs que par les contraintes environnementales biotiques et abiotiques, qui a retenu les mutations conduisant aux types de plantes actuellement cultivées. Ainsi, chez les céréales, les mutants présentant une floraison groupée, sans désarticulation du rachis à maturité, avec des grains nus, et donnant le maximum de graines en une seule récolte, ont été favorisés. Les études génétiques des différences entre une plante sauvage et une plante cultivée chez ces espèces montrent que la domestication a agi sur relativement peu de gènes à effets forts. De façon simplifiée, seulement cinq gènes différencient, du point de vue de la morphologie, l'ancêtre du maïs (la téosinte) et le maïs actuel (Photo 1). La même évolution peut aussi être observée chez des espèces dicotylédones, comme le tournesol (Photo 2).

Cependant, n'ont été domestiquées que les espèces présentant des prédispositions à la domestication, par leur utilité ou attrait immédiat, et aussi par l'existence

---

1. Au sens large, elle inclut aussi l'amélioration « consciente » des plantes.

de mutations entraînant des caractères intéressants pour l'Homme ou favorables au processus de domestication, d'où un nombre assez restreint d'espèces domestiquées. Chez les céréales à fécondation croisée (maïs, mil, etc.), les mutations intéressantes, pour donner prise à la domestication devaient même être situées sur le même chromosome, très proches les unes des autres (Pernès, 1983).

Certaines espèces sont devenues au travers de ce processus dépendantes de l'Homme. Il en est ainsi des maïs ou des blés actuels qui, s'ils sont abandonnés dans la nature sans intervention de l'Homme, sont condamnés à disparaître. À une époque où le généticien biotechnologiste est accusé de fabriquer des plantes contraires à l'ordre naturel des choses, et de contribuer ainsi à la diminution de la diversité des espèces végétales, il est important de souligner que l'écart le plus important à la nature a été fait par cette domestication amorcée il y a environ 10 000 ans. Il faut aussi remarquer que cette domestication a eu surtout pour effet d'éliminer des caractères défavorables pour la culture et l'utilisation des plantes par l'Homme, et de fixer des caractères favorables qui, sans elle, auraient pu être perdus sous l'effet de la sélection naturelle et de la dérive génétique.

## L'évolution des populations cultivées

La domestication a entraîné une perte de diversité génétique des plantes utilisées par l'Homme par le choix d'un nombre limité d'espèces. Puis, à l'intérieur d'une espèce le nombre des populations cultivées a diminué au cours du temps, conséquence d'abord des échanges de semences qui pouvaient se faire au niveau d'un village (favorisant celles qui donnaient le meilleur résultat) et par le commerce même des semences, apparu très tôt. Ainsi sous Charlemagne (vers l'an 800) on trouve des capitulaires recommandant aux agriculteurs le renouvellement des semences et l'achat de celles-ci sur le marché (Boulaine, 1992). Au XIX<sup>e</sup> siècle, avec les travaux de Louis Lévêque de Vilmorin, est apparue la sélection vraiment consciente, dirigée en vue d'améliorer les performances de la population cultivée. Louis Lévêque de Vilmorin, généticien et sélectionneur, qui est sans doute passé très près de la découverte des lois de l'hérédité, avant Mendel, a été le premier à établir que pour apprécier la valeur d'une plante, il fallait étudier sa descendance, établissant ainsi les bases de la sélection généalogique.

L'application de ce principe aux populations de plantes qui s'autofécondent naturellement (plantes dites « autogames ») a entraîné immédiatement un rétrécissement de la diversité génétique des variétés cultivées puisque chaque descendance ainsi sélectionnée correspond à un génotype homozygote appelé « lignée pure » (voir p. 32). Ainsi, depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle les variétés de céréales autogames (blé, orge, avoine, etc.) sont des lignées pures ; toutes les plantes d'une variété donnée cultivées aujourd'hui dans le champ de l'agriculteur ont le même génotype.

Chez les plantes à fécondation croisée, dites « allogames » (maïs, betterave, graminées fourragères, etc.) il était impossible de développer des lignées pures de bonne valeur compte tenu de la forte perte de vigueur en régime de consanguinité, alors que celle-ci est très faible chez les plantes autogames (voir Annexe 1). Pour éviter

cette dépression, deux voies ont été développées : la voie « variétés hybrides » et la voie « variétés synthétiques ».

Il a fallu attendre les travaux de Shull en 1908 pour voir apparaître le concept de variétés hybrides permettant de réaliser à partir des populations de plantes allogames l'équivalent de ce qui était facile chez les populations de plantes autogames, à savoir reproduire par voie sexuée le meilleur génotype en un grand nombre d'exemplaires ; mais ici, il s'agit de la reproduction d'un génotype hétérozygote (voir p. 34). Le concept de variétés hybrides a marqué et marque encore toute l'amélioration des plantes allogames ; il amène des progrès importants à court terme, mais il entraîne une dépendance de l'agriculteur qui doit acheter des semences chaque année. Le développement des variétés hybrides a aussi clairement entraîné la séparation de deux métiers : celui d'agriculteur utilisateur de semences et celui de sélectionneur et producteur de semences.

Chez les plantes où le contrôle de l'hybridation n'était pas possible à grande échelle, ce sont des variétés populations artificielles appelées « variétés synthétiques » qui ont été développées (très utilisées chez les plantes fourragères allogames). Nous verrons qu'une variété synthétique est une population artificielle fondée à partir d'un nombre limité de fondateurs (plantes ou familles<sup>2</sup>). C'est le choix d'un nombre optimum de fondateurs qui permet de faire un compromis entre possibilité de sélection et limite de la consanguinité ; pour avoir une sélection efficace il faut un faible nombre de fondateurs, mais pour limiter la consanguinité au niveau de la population il en faut un nombre assez élevé. Même s'il reste une variabilité intravariétale, il y a eu là aussi homogénéisation génétique de ce qui est cultivé dans le champ de l'agriculteur. Cependant, du fait de leur hétérogénéité génétique, les progrès réalisés avec ce type de variétés sont beaucoup plus faibles qu'avec les hybrides.

Quel que soit leur type, les variétés sont donc devenues beaucoup plus homogènes, avec des caractéristiques bien définies. En un siècle, chez les céréales à paille et le maïs, on est passé des variétés populations, hétérogènes, à des variétés monogénotypiques (lignées pures, hybrides simples<sup>3</sup>). Chez les autres espèces à multiplication sexuée, on observe la même évolution ; on utilise des lignées pures chez les plantes autogames et des hybrides chez les plantes allogames, lorsqu'il est possible de contrôler l'hybridation à grande échelle. Ainsi chez la betterave, plante allogame, les variétés populations ont d'abord été remplacées par des hybrides de populations hétérogènes, et aujourd'hui elles évoluent vers des variétés hybrides simples. Les hybrides se développent même chez certaines espèces naturellement autogames, car l'hybridation est le moyen le plus rapide pour réunir dans un génotype les gènes dominants favorables dispersés dans deux parents (voir p. 39). Chez les plantes à multiplication végétative (par exemple la pomme de terre), la sélection a très vite conduit à des variétés monoclonales.

---

2. Ensemble d'individus apparentés, par exemple descendance en autofécondation ou en fécondation libre d'une plante, descendance du croisement de deux plantes ou lignées...

3. Croisement de deux lignées pures.

Ainsi, depuis les débuts de la domestication on observe une réduction continue de la diversité dans le champ de l'agriculteur, à un moment donné, avec moins d'espèces cultivées, de moins en moins de populations différentes par espèce, et des populations de plus en plus homogènes. Cette évolution est assez générale, mais est encore plus nette dans les pays ayant intensifié leur agriculture. Cependant, ce constat doit être complété par le fait que la sélection conduit à diversifier les variétés proposées aux agriculteurs en fonction des usages, des modes et des milieux de culture, voire même à élargir le choix des espèces cultivables en un lieu donné.

## **L'homogénéisation des variétés : rançon et facteur du progrès génétique**

### **Intérêt de l'homogénéisation des variétés**

Le rétrécissement de la base génétique du peuplement végétal cultivé dans un champ est à la fois conséquence et cause du progrès génétique. Conséquence, car la recherche des performances maximales dans un milieu donné conduit à retenir les génotypes adaptés à ce milieu et donc à favoriser les bases génétiques étroites ; cause, car le développement de variétés à base étroite permet de sélectionner plus efficacement. En effet, en l'absence de fortes interactions entre plantes, un peuplement hétérogène comme une population formée d'un mélange de génotypes, a nécessairement une performance moyenne inférieure à la valeur de ses meilleurs constituants et le meilleur mélange est toujours inférieur au meilleur de ses constituants en monoculture. Inversement la performance d'un mélange est supérieure aux performances des plus mauvais constituants, et les plus mauvais mélanges sont supérieurs au plus mauvais des constituants (Figure 1.1). Donc, si l'on recherche les performances maximales, dans un milieu donné, il faut des variétés à base génétique étroite. Cette réduction de la base génétique des variétés est à l'origine des progrès spectaculaires observés (voir p. 21).

En revanche, si l'on cherche la stabilité de la production dans des conditions variées et variables, avec de fortes interactions génotype  $\times$  milieu<sup>4</sup>, il vaut mieux avoir un peuplement hétérogène. Une façon de gagner en stabilité, sans trop perdre en homogénéité, est d'associer un nombre limité de génotypes ayant le même rythme de croissance et de développement, d'où, par exemple, l'intérêt des associations raisonnées de génotypes de blé pour limiter le développement des maladies (Tableau 1.1). Cependant, par la sélection, il est tout à fait possible d'obtenir des variétés à base génétique étroite qui aient également un comportement stable. D'une façon générale, les variétés d'aujourd'hui sont bien plus stables que les anciennes variétés (Gallais, 2010a).

L'homogénéisation des variétés a aussi été rendue nécessaire pour la mécanisation de la culture et une certaine standardisation des produits. Une population homogène permet en effet de simplifier et de rendre plus efficaces les diverses opérations

---

4. C'est-à-dire avec des écarts de performances entre variétés qui dépendent des milieux.