

**MÉTHODES  
TRADITIONNELLES DE  
SÉLECTION DES PLANTES :  
UN APERÇU HISTORIQUE  
DESTINÉ A SERVIR DE  
RÉFÉRENCE POUR  
L'ÉVALUATION DU RÔLE  
DE LA BIOTECHNOLOGIE  
MODERNE**

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

## **Avant-propos**

Au sein de l'OCDE, le Groupe d'experts nationaux sur la sécurité en biotechnologie (GEN) a élaboré depuis de nombreuses années des concepts et des principes relatifs à l'évaluation des risques et de la sécurité de la biotechnologie moderne. Les succès et les résultats positifs des nouvelles techniques en matière de sécurité contribuent à multiplier leurs applications dans divers secteurs, y compris celui des plantes cultivées. Aussi, le GEN a-t-il pensé qu'une étude «de référence» des méthodes traditionnelles de sélection des plantes permettant d'évaluer les aspects de ces nouvelles techniques qui touchent à la sécurité biologique serait souhaitable.

Il a donc été convenu d'établir le présent document sur la base d'une proposition et de directives élaborées en 1991 par M. W. de Greef de la Belgique, qui était alors président du GEN. Un groupe d'experts de divers pays Membres a préparé des contributions portant sur différentes plantes cultivées en se conformant à ces directives.

Le document a ensuite été examiné par le GEN ainsi que par le Comité pour la politique scientifique et technologique, dont il relève, et approuvé par le Secrétaire général comme constituant une publication scientifique et éducative de haut niveau.

Ce rapport ne reflète ni la position de l'OCDE ni celle des gouvernements des pays Membres, et les opinions exprimées engagent leurs seuls auteurs.

Le travail de l'OCDE sur les aspects de sécurité de la biotechnologie, dont cette publication fait partie, a pu être entrepris en particulier grâce à la généreuse contribution financière de la Commission des Communautés européennes et du gouvernement du Japon.

## Table des matières

Préface .....	7
Introduction .....	11
1. Le soja .....	17
2. Le blé .....	27
3. Le riz .....	39
4. Les cucurbitacées .....	51
5. Le coton .....	69
6. Le tabac .....	81
7. La tomate .....	95
8. Le tournesol .....	105
9. Le maïs .....	123
10. La betterave à sucre .....	133
11. La luzerne .....	149
12. Le colza .....	161
13. Les choux .....	173
14. L'oignon .....	187
15. Le manioc .....	197
16. La pomme de terre .....	207
17. Les <i>Prunus</i> .....	223
Glossaire .....	233
<i>Annexe 1</i> : Liste des auteurs .....	247
<i>Annexe 2</i> : Liste des participants de la réunion préparatoire du 9 au 10 novembre 1991 .....	249

## Préface

*par*

J.E. Veldhuyzen van Zanten

Depuis que la vie est apparue, elle n'a pas cessé d'être exposée à des risques. Les organismes vivants affrontent des dangers à chaque étape de leur existence. Dans la lutte pour la vie, certains survivent et d'autres périssent. La sélection naturelle assure la survie des mieux adaptés.

La sélection des plantes cultivées est une manière de renforcer la sélection naturelle. L'homme met en place des milieux de culture qui vont de l'agriculture extensive à la culture en serre. Il réorganise les gènes des plantes cultivées et, ce faisant, acquiert des connaissances et une expérience qui lui permettent d'adapter des organismes vivants à l'usage qu'il leur donne et de les aider à survivre plus aisément.

C'est sur cette somme de connaissances et d'expériences accumulées au fil des siècles que le sous-groupe sur les plantes cultivées du Groupe d'experts nationaux (GEN) de l'OCDE sur la sécurité en biotechnologie a décidé de porter son attention. On a donc entrepris d'étudier les principales caractéristiques, la physiologie, la toxicologie et le comportement dans l'environnement de 17 plantes cultivées d'importance mondiale et des espèces sauvages dont elles sont issues; ces plantes sont considérées comme des cibles de choix pour des projets de modification génétique. Un groupe d'éminents auteurs du monde entier, faisant chacun autorité dans son domaine de la sélection végétale, ont contribué à cet aperçu.

L'*Aperçu historique des méthodes de sélection des plantes* publié séparément ne se veut en aucune manière un manuel scientifique sur la sélection végétale. Il a en effet été rédigé à l'intention du profane. Il donne des indications sur la façon dont la plante cultivée a été obtenue à partir de ses ascendants sauvages et sur les objectifs que l'on a cherché à atteindre en exploitant les caractéristiques propres à chaque espèce végétale. Une attention particulière a été accordée à la qualité nutritionnelle et à la sécurité des plantes. «L'usage courant» en matière d'introduction de plantes dans l'environnement est clairement précisé, et des observations sont formulées à propos de l'introduction en champ au cours des différentes étapes de la sélection, du croisement et de l'essai.

Le matériel de sélection devient en fin de compte de la semence de variété, qui est plantée en grande quantité dans les systèmes agricoles. Une variété constitue une combinaison supérieure de gènes. Elle présente une résistance à des maladies et à des parasites, ainsi que diverses caractéristiques éminemment favorables à une croissance durable.

On pourrait avancer que l'emploi sur de grandes superficies d'un nombre limité de variétés risque de réduire la diversité génétique d'une plante cultivée. La présente étude montre comment les sélectionneurs tiennent compte de ce problème potentiel en remplaçant périodiquement le matériel génétique, en réponse aux besoins de la société.

Les rapports sur les différentes plantes ont été regroupés en fonction du mode de reproduction propre à celles-ci. Le premier groupe de plantes se reproduit uniquement ou principalement par autofécondation. Il comprend le soja, le blé, le riz, la tomate, le coton et le tabac. Le concombre et le melon manifestent également un taux élevé d'autofécondation. Celle-ci tend à donner des variétés uniformes présentant une forte consanguinité. Les avantages qu'offrent les hybrides  $F_1$  sont toutefois reconnus et mis à profit pour la plupart de ces cultures.

Le deuxième groupe présente une tendance naturelle à l'allofécondation et donne une descendance de caractère plus hétérogène. Pour la production de semences, des distances d'isolement de sécurité doivent être respectées et sont bien établies pour chaque plante. Ce groupe de plantes comprend le maïs et la betterave à sucre, dont le pollen est dispersé par le vent sur de grandes distances, ainsi que le tournesol, la luzerne, les plantes du genre *Brassica*, l'oignon, la courge et la pastèque, qui sont toutes des plantes allogames dont la fécondation est assurée par les insectes. L'étude donne des exemples de distances observées dans certains pays. Les variétés hybrides  $F_1$  uniformes offrent dans ce deuxième groupe des avantages tout à fait évidents. Les sélectionneurs n'ont pas ménagé leurs efforts pour obtenir des mécanismes de reproduction qui permettent une production contrôlée de semences  $F_1$ .

Le troisième groupe se compose de plantes dont les variétés se propagent par boutures, plançons, racines, tubercules ou même cultures de tissus. On y trouve le manioc, la pomme de terre et le genre *Prunus*. Entre les mains du sélectionneur, les fleurs de ces plantes peuvent être croisées pour créer une nouvelle variabilité, mais ces espèces sont normalement multipliées sous forme de clones uniformes.

Pour chaque plante, les thèmes traités apparaissent dans le même ordre. On peut ainsi obtenir un aperçu historique pour une plante déterminée ou pour un sujet particulier. Il est donc possible de rechercher dans ce document les «mécanismes de dispersion et de survie des propagules» ou les «effets toxicologiques».

L'aperçu historique a été rédigé par des sélectionneurs expérimentés, qui ont simplement eu pour mission de décrire «l'usage courant», y compris les réglementations en vigueur sur les semences. Le document ne se veut donc pas exhaustif. Il n'était pas demandé aux auteurs d'examiner les questions de réglementation liées à la biotechnologie moderne. Ils avaient pour seule instruction de rendre leurs textes accessibles aux décideurs, aux responsables de la réglementation, etc., qui ne sont pas des spécialistes du domaine abordé, de façon à leur fournir, à propos de la sécurité des plantes dans l'environnement, des références historiques fondées sur «l'usage courant».

Dans son ouvrage *L'origine des espèces*, Charles Darwin faisait observer que la familiarité que l'on a de quelque chose peut nous dissimuler de nouvelles perspectives. Dans son cas, la familiarité avec les faits voilait la loi de sélection naturelle. De nos jours, ce phénomène de familiarité peut nous conduire à négliger les possibilités qu'offrent les modifications génétiques, si nous ne percevons pas toute la valeur de ces enseignements du passé.

Les sélectionneurs connaissent bien la génétique de leurs plantes, et ils commencent à rechercher les moyens d'appliquer de manière sûre et rationnelle les nouvelles techno-

logies dans leur domaine de compétence. L'aperçu historique en donne de nombreux exemples.

Les 17 plantes qui font l'objet de la présente étude trouvent leur origine au Moyen-Orient, en Asie centrale, en Chine, en Inde, dans le bassin méditerranéen, en Australie et en Amérique, mais toutes sont aujourd'hui répandues dans le monde entier.

Toutes ces espèces domestiques sont apparentées à des espèces sauvages, mais dans des mesures très différentes. On connaît plus de 60 espèces apparentées dans le cas du tabac, du tournesol, de la luzerne, du manioc, de la pomme de terre et du genre *Prunus*. On ne trouve en revanche que moins de dix espèces étroitement apparentées au soja, au blé, au maïs et à la betterave à sucre. Le maïs, en fait, n'a qu'une seule espèce sauvage apparentée, le téosinte, qui ne pousse qu'au Mexique et au Guatemala, où il peut se croiser avec le maïs dans les champs de production de semences.

Les croisements spontanés avec les plantes sauvages apparentées sont mentionnés. Le nombre de cas est toutefois faible. En dehors du maïs, on peut citer le riz rouge compatible au Japon, en Inde et aux États-Unis, le coton sauvage d'Hawaï, où le coton n'est pas normalement cultivé, les betteraves sauvages de la région méditerranéenne, qui sont susceptibles de contaminer des parcelles de multiplication des semences, et l'*hevea ceara* sauvage, qui se croise naturellement avec le manioc. Une gestion appropriée des cultures permet de faire face à ces problèmes. La production de semences de variétés de betterave à sucre en présence de betteraves sauvages en offre un exemple. Si les champs sont suffisamment étendus, les variétés produisent de grandes quantités de pollen et les nuages de pollen empêchent le pollen de betterave sauvage de contaminer la culture de porte-graines. Il n'est toutefois pas possible de produire des semences hybrides à proximité de *Beta* sauvage. Les producteurs de semences évitent à présent de telles zones.

La question de la toxicité apparaît moins grave qu'on n'aurait pu le penser à première vue. Les graines de soja contiennent des inhibiteurs de la trypsine qui sont indésirables dans l'alimentation du bétail. La présence de gluten de blé dans les aliments entraîne parfois des troubles de santé et l'inhalation de pollen de blé peut provoquer des réactions allergiques. Comme la lignine du foin de luzerne trop mûr réduit la digestibilité pour le bétail, la gestion des cultures de luzerne doit prévoir une récolte précoce du fourrage. Certains composés n'atteignent jamais des niveaux de toxicité de nature à interdire l'utilisation du produit. Citons par exemple l'amertume du concombre, la tomatine de certaines tomates vertes sauvages, la solanine de la pomme de terre et l'acide oxalique de la betterave fourragère. Le manioc, qui est un important aliment de base pour les populations des régions tropicales, contient une enzyme, la linamarose, qui produit des glucosides toxiques lorsque les cellules des racines se rompent et sont exposées à l'air. Le tabac est cultivé pour sa nicotine et contient des concentrations dangereuses de goudron. On peut toutefois faire observer que toutes ces propriétés toxiques sont bien connues. Un traitement et une cuisson appropriés permettent par exemple de se débarrasser de la cyanamide du manioc. Cela se fait tous les jours dans les régions où le manioc est une plante alimentaire de base. Quant à la nicotine et au goudron du tabac, ce sont des drogues légales et ils sont gérés en conséquence. Ces différents points méritent peut-être une plus grande attention.

Par leur nature même, les plantes sont cultivées en milieu ouvert et non protégé et c'est donc aussi le cas des plantes modifiées, quelle que soit l'origine de la modification. L'isolement en serre apparaît être davantage l'exception que la règle. L'isolement ou le confinement n'est pas lié à des étapes déterminées de la mise au point de variétés. Par

exemple, les plantes d'élite pour la production de semences de base d'une variété établie de betterave à sucre sont mises en serre, alors que des plants consanguins d'un croisement visant à obtenir un maïs résistant au froid font l'objet d'essais en champ. Les nouvelles variétés de coton doivent franchir 20 essais, mesurés en nombre d'années multiplié par le nombre d'emplacements. Après approbation de la meilleure variété proposée, quatre étapes de multiplication des semences, dont certaines sont confiées à des producteurs de semences sous contrat, doivent encore être franchies avant que la mise sur le marché de la variété soit autorisée.

L'étude sur les plantes cultivées révèle que l'ère de la biotechnologie végétale a déjà commencé. Les sélectionneurs se servent du polymorphisme de la longueur des fragments de restriction (RFLP), que l'on appelle aussi la technique des «empreintes digitales», comme outil diagnostique pour localiser avec plus de précision les gènes qu'ils manipulent, notamment dans la tomate, le maïs et la betterave à sucre. La régénération des haploïdes et des hybrides somatiques a été mentionnée pour le tabac et la betterave à sucre; elle est pratiquée aussi sur le coton, la tomate, la luzerne, les *Brassicae* et la pomme de terre. On recourt aujourd'hui à la transgénèse en de nombreux endroits et pour diverses cultures, comme le maïs et le riz. Les sélectionneurs la considèrent généralement comme un outil supplémentaire, venant en complément de leurs programmes de sélection classiques.

En conclusion, la mise au point de mesures de sécurité biologique pour les plantes cultivées exige une connaissance approfondie de la nature de la sélection végétale. Cet aperçu historique offre des données de référence à ce propos, grâce à la somme de connaissances et d'expérience que nous livrent des auteurs compétents en matière de sélection classique des plantes.

## Introduction

*par*

Wally D. Beversdorf

La présente étude, préparée par un groupe d'experts nationaux à la suite de discussions tenues à Paris les 9 et 10 novembre 1991, présente les mécanismes actuels et traditionnels utilisés pour la modification génétique des végétaux afin de développer de nouvelles variétés. En outre, elle offre une brève analyse des voies par lesquelles les produits des programmes de sélection végétale pénètrent dans les systèmes de production et les canaux de commercialisation actuels dans les pays de l'OCDE.

Les plantes possèdent une aptitude unique à capter l'énergie lumineuse du soleil et à extraire du sol des éléments naturels pour les convertir en énergie biologique et en de nombreux autres produits biologiques. Par la photosynthèse et d'autres systèmes métaboliques, les plantes satisfont directement ou indirectement les besoins nutritionnels de presque toutes les autres formes de vie sur la terre. En outre, les plantes fournissent de l'oxygène, des fibres, des fleurs, des substances aromatiques, des substances à effet thérapeutique, etc., qui sont essentielles ou esthétiquement désirables pour les êtres humains. La culture des plantes utilise diverses technologies – dans le travail du sol, les techniques de plantation, la protection des plantes, la récolte des produits végétaux ainsi que leur stockage et leur transformation – sur un nombre relativement restreint d'espèces végétales (et de microbes associés) afin d'entretenir ou d'améliorer la vie des populations humaines et des animaux domestiques. Au cours de l'évolution de la société, les espèces végétales cultivées ont subi des modifications génétiques (domestication), et les technologies de culture ont changé.

Après l'introduction, il y a plus de 150 ans, de la technique de sélection Vilmorin pour la betterave, de nombreuses espèces végétales cultivées ont été systématiquement améliorées par des procédés de sélection. Ces procédés de modification génétique, associés à des techniques améliorées de culture et de protection des plantes, sont dans une large mesure responsables de l'amélioration du bien-être nutritionnel et physique dans les pays de l'OCDE et ailleurs, en dépit de la croissance spectaculaire de la population (400 pour cent) que ces sociétés ont connue durant les cent dernières années. Les améliorations de la biologie des plantes cultivées ont été réalisées par une modification génétique des espèces végétales obtenue grâce à une sélection systématique. Les programmes de sélection végétale incluent une série d'activités :

- i)* acquisition ou création de populations végétales génétiquement variables ;

- ii) sélection des caractéristiques désirables afin d'accroître leur fréquence dans les populations soumises à la sélection ;
- iii) utilisation de techniques propres à stabiliser la composition génétique améliorée de génération en génération ou d'année en année ;
- iv) évaluation soigneuse des populations génétiquement modifiées du point de vue de l'adaptation, de la productivité, et des autres exigences de l'industrie transformatrice ou du consommateur final, afin de garantir que les populations génétiquement modifiées répondront aux attentes du producteur, de l'industrie transformatrice et du consommateur final ;
- v) maintien, purification et multiplication de la population génétiquement modifiée afin de fournir des propagules de départ stables aux systèmes commerciaux de production végétale.

Alors que l'objectif général de la sélection végétale est d'améliorer les espèces végétales cultivées, certains objectifs spécifiques reflètent les besoins des producteurs, des transformateurs et des consommateurs finals de ces espèces. Voici quelques-uns de ces objectifs :

- améliorer la tolérance ou la résistance à des organismes qui consomment ou contaminent les plantes cultivées ;
- améliorer la résistance aux stress abiotiques (sécheresse, chaleur/froid, polluants atmosphériques, et autres stress physiques rencontrés dans les écosystèmes végétaux) ;
- améliorer la productivité (conversion du dioxyde de carbone et des éléments nutritifs du sol en produits biologiques utiles) ;
- améliorer les caractéristiques concernant la transformation et la valeur nutritive (amélioration de la composition en éléments nutritifs pour l'homme et pour les animaux, réduction de la teneur en toxines naturelles, amélioration des caractéristiques de stockage, etc.) ;
- améliorer l'adaptation (afin d'étendre la zone géographique ou les niches environnementales où une plante peut être cultivée).

Bien qu'il y ait des étapes communes à la plupart des programmes de sélection, les procédures spécifiques employées par les sélectionneurs de plantes sont affectées à la fois par les caractéristiques biologiques (par exemple méthode de reproduction, modalités de fécondation, disponibilité en ressources génétiques, etc.) et par les exigences du marché, définies par les producteurs, les transformateurs et les consommateurs finals. Les caractéristiques biologiques des espèces cultivées présentent d'énormes différences. Certaines espèces (par exemple la pomme de terre et de nombreux arbres fruitiers) sont propagées par multiplication asexuée. Beaucoup d'autres ont une reproduction sexuée par formation de graines (embryons résultant de la fécondation sexuelle). Parmi les espèces propagées par des graines (qui incluent toutes les principales céréales du monde), certaines sont propagées par autopollinisation (par exemple, le blé, le soja, l'orge et le haricot commun), tandis que d'autres se reproduisent par pollinisation croisée (par exemple, le maïs, le tournesol, la betterave à sucre, les concombres, le seigle, la luzerne, etc.). Parmi les espèces reproduites par pollinisation croisée, les variétés cultivées peuvent être des variétés synthétiques (populations fécondées au hasard d'individus génétiquement distincts, par exemple seigle et luzerne) ou des hybrides produits par des fécondations contrôlées entre des populations différentes (par exemple, maïs hybride, betterave à sucre hybride, tournesol hybride, etc.). D'autres espèces encore se situent quelque part entre les

espèces à pollinisation croisée et les espèces à autopolinisation (par exemple, le colza oléagineux) et offrent des variétés qui peuvent refléter des lignées pures, synthétiques ou hybrides, en fonction de la stratégie de sélection et des ressources biologiques disponibles.

Les variétés de lignée pure (typiques pour les espèces fortement autopolinisées telles que le soja) sont des populations d'individus génétiquement identiques dans lesquelles les générations de parents et les générations de descendants sont identiques. Une variété synthétique (typique pour certaines espèces à pollinisation croisée, comme la luzerne), est formée d'une population d'individus génétiquement distincts, chacun reflétant les combinaisons uniques d'allèles reçus de l'un et de l'autre parent. Alors qu'une population synthétique consiste en de nombreux individus génétiquement distincts à l'intérieur de chaque génération, le type spécifique et la fréquence des individus génétiques (génotypes) ne varient que faiblement de génération en génération de fécondation aléatoire. Une variété hybride (typique du maïs et du tournesol) est composée d'individus identiques ou très semblables, mais, à la différence des lignées pures, ceux-ci sont génétiquement très différents à la fois de leurs parents et de leurs descendants. Ainsi, les caractéristiques de reproduction, le mode de fécondation (autopolinisation ou pollinisation croisée) et la capacité de contrôler les fécondations jouent un rôle primordial dans la détermination des procédés de sélection des plantes employés dans la création de variétés nouvelles.

En dépit de ces différences, des étapes analogues sont franchies dans la création d'une variété nouvelle. Des populations de sélection génétiquement variables sont produites par des fécondations contrôlées entre des parents génétiquement différents (technique communément utilisée depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle), par mutagenèse (utilisée depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle), ou par l'acquisition de races locales qui ont subi des fécondations croisées ou des mutations naturelles. L'hybridation parasexuelle moderne (combinaison asexuée de matériel génétique par fusion de cellules végétales génétiquement distinctes) diffère des fécondations contrôlées (hybridation) en ceci qu'elle permet l'hybridation entre des individus sexuellement incompatibles. L'hybridation résultant de fécondations contrôlées peut être très simple (un croisement en une seule fois entre deux individus), très complexe (des générations successives de fécondations contrôlées entre de nombreux individus distincts) ou très spécialisée, comme dans le rétrocroisement (suite de fécondations, à l'origine entre deux parents génétiquement dissemblables, les générations suivantes étant accouplées avec un seul des parents) une technique employée pour transférer un ou plusieurs caractères spécifiques d'une population (donneur) à une autre (parent récurrent). Les technologies modernes utilisées pour transformer les végétaux sont identiques dans leur conception aux programmes de rétrocroisement, mais elles permettent d'utiliser des populations de donneurs qui sont sexuellement incompatibles avec la population parente (réceptrice) récurrente.

Les procédés de sélection utilisés pour modifier la fréquence des individus présentant certaines caractéristiques spécifiques à l'intérieur de populations de sélection génétiquement variables consistent simplement à mesurer les caractéristiques des individus à l'intérieur des populations et à éliminer ceux qui présentent des caractéristiques indésirables. Ils sont normalement suivis durant plusieurs générations et peuvent être appliqués à des plantes individuelles ou à des familles. La sélection consistant à retenir ou à rejeter des individus à l'intérieur des populations est communément désignée sous le nom de sélection massale. La sélection consistant à retenir ou à rejeter des familles est communément désignée sous le nom de sélection généalogique dans les espèces autopolinisées, ou

de sélection de demi-frères et demi-sœurs (individus n'ayant qu'un seul parent en commun) ou de frères et sœurs (ayant les deux parents en commun) dans les espèces à pollinisation croisée. Il y a de nombreuses variantes de ces procédés de sélection de base, en fonction des objectifs spécifiques du programme de sélection et de l'espèce en cause.

Dans tous les procédés de sélection, les mesures effectuées par les sélectionneurs pour inclure ou éliminer des individus ou des familles des générations suivantes, dans un programme de sélection, dépendent des exigences du producteur, du transformateur ou du consommateur final. Ces mesures peuvent consister en opérations simples telles que mesure de la hauteur, de la tendance à la verse ou du caractère attrayant. D'autres mesures peuvent être très complexes, comme la mesure de la réponse des individus à des inoculations artificielles d'un agent pathogène des végétaux, ou l'analyse chimique de la teneur du grain en huile, en protéines et en substances toxiques. Les décisions de sélection sont habituellement prises après que de nombreuses caractéristiques mesurées ont été considérées successivement (sélection indépendante) ou collectivement (en utilisant des indices de sélection pondérés), bien que le premier procédé soit en général économiquement plus efficace.

La stabilisation génétique des populations est nécessaire pour les espèces à propagation sexuée. Elle est réalisée par des croisements consanguins aboutissant à l'uniformité génétique entre familles pour les espèces autopolinisées ou par des fécondations aléatoires d'individus à l'intérieur des familles pour les espèces à pollinisation croisée. La stabilisation génétique peut précéder la sélection (dans les espèces autopolinisées), avoir lieu simultanément (espèces autopolinisées et à pollinisation croisée) ou suivre la sélection (procédé typique pour les espèces à pollinisation croisée). La stabilisation des populations de sélection est nécessaire pour garantir que les générations suivantes de familles conserveront les attributs choisis par le sélectionneur. Les espèces à propagation asexuée sont stabilisées par le procédé de multiplication.

Les familles sélectionnées qui sont génétiquement stables (variétés potentielles) à l'intérieur des programmes de sélection végétale font normalement l'objet d'une évaluation attentive portant sur les points suivants :

- adaptation géographique et adaptation au système de production (pour déterminer si la famille sélectionnée peut être produite, où et comment);
- caractéristiques de performance (pour déterminer la valeur relative de la famille sélectionnée par comparaison avec des variétés se trouvant déjà dans le système de production commerciale du point de vue de la productivité, de la résistance aux parasites et aux stress, de la commodité de récolte, etc.);
- caractéristiques relatives à la transformation (par exemple, caractéristiques moutures du blé, caractéristiques d'extraction et de rendement en sucre de la betterave à sucre, caractéristiques de stockage des fruits et légumes, etc.);
- caractéristiques concernant le consommateur final (teneur en protéines du soja, caractéristiques boulangères ou pâtisseries du blé, caractéristiques d'arôme de nombreux fruits et légumes, caractéristiques d'effet esthétique et de persistance de l'effet esthétique de nombreuses plantes ornementales, etc.).

Ces évaluations s'étalent normalement sur toute la gamme de l'adaptation géographique potentielle d'une famille améliorée et sont habituellement effectuées sur plusieurs années afin de garantir que les mesures relevées reflètent une diversité de conditions météorologiques dans les zones potentielles d'adaptation. Normalement, les essais d'évaluation commencent en un ou quelques points et sont ensuite étendus pour couvrir toute la

gamme potentielle d'adaptations et d'intérêt commercial. Cet élargissement de l'échelle des évaluations de familles est initialement déterminée par la disponibilité des graines (propagules) et ensuite en tenant compte des informations recueillies au cours des évaluations précédentes concernant : la gamme d'adaptations potentielles ; la sensibilité de l'espèce aux variables d'environnement ; l'intensité de la production dans les zones d'adaptation potentielle ; enfin, dans de nombreux pays de l'OCDE, les exigences réglementaires d'enregistrement des variétés nouvelles. Les essais d'évaluation sont habituellement un effort conjoint des sélectionneurs de plantes, des autorités responsables de la réglementation des variétés végétales, des agronomes et des savants spécialistes de la protection des végétaux possédant une expérience des espèces, des industriels de la transformation capables d'évaluer les propriétés d'aptitude au traitement et de convenance pour le consommateur final, et d'un personnel de vulgarisation bien au courant des avis des producteurs concernant l'espèce ou les régions d'adaptation.

Simultanément à l'élargissement de l'échelle de l'évaluation des variétés potentielles, les sélectionneurs s'engagent normalement dans l'élargissement des activités de multiplication et de purification des stocks de base de semences ou des propagules asexués des familles sélectionnées. Ces activités se poursuivent normalement durant tout un programme de sélection pour garantir un approvisionnement suffisant en stocks de semences ou de propagules pour la multiplication commerciale, et pour garantir que les stocks de semences ou de propagules de base ne subissent pas de modifications génétiques par l'effet de variation, de mutation ou de contamination aussi longtemps qu'il existe un potentiel de commercialisation pour la variété.

Le procédé de sélection végétale systématique décrit ci-dessus a remplacé le procédé de domestication graduelle utilisé dans le passé. Un siècle de sélection végétale systématique a affiné les ressources génétiques de base (variabilité génétique) des espèces cultivées, les transformant en variétés supérieures capables de satisfaire les demandes de la société moderne, et a joué un rôle important dans l'amélioration remarquable du bien-être nutritionnel de cette société. Les variétés supérieures, combinés avec des systèmes supérieurs de transformation et de distribution de la production dans la plupart des pays de l'OCDE, ont entraîné une nette diminution de la part de l'activité humaine consacrée à des travaux agricoles. Les opérateurs de sélection végétale sont généralement conscients du fait qu'ils ne doivent pas s'abandonner à l'auto-satisfaction. Les demandes toujours croissantes du marché, la diminution des ressources génétiques dans de nombreuses espèces cultivées, la diminution des ressources environnementales pour la culture des plantes (terre arable, éléments nutritifs des végétaux, etc.) et l'incertitude tant sur les conditions climatiques en voie de changement (par exemple, l'effet de serre) et la stabilisation de la population mondiale pèseront à coup sûr lourdement sur les systèmes de culture végétale dans les décennies à venir.

Les chapitres qui vont suivre présentent un certain nombre d'espèces de plantes cultivées en même temps qu'une brève description de leur histoire, du rôle qu'elles jouent, et des moyens employés pour créer des variétés supérieures. Ensemble, ils montrent comment des variétés végétales améliorées sont créées et s'intègrent dans les systèmes de culture végétale modernes.

# 1. Le soja

*par*

Wally D. Beversdorf

## A. Caractéristiques de la plante

### a) *Origines géographiques*

Le soja, *Glycine max* L. Merrill, est une espèce cultivée de la famille des légumineuses. L'origine et l'histoire de la production de soja ne sont pas bien connues. Selon Hymowitz (1970), le soja a probablement été domestiqué vers le XI<sup>e</sup> siècle avant J.-C. dans ce qui est maintenant le nord-est de la Chine. Le soja cultivé est étroitement apparenté au soja sauvage, *G. soja* Sieb. et Zucc., avec lequel il est hautement compatible par croisement. Le *G. soja* (connu antérieurement comme *G. ussuriensis*) est une herbe annuelle naturellement répandue dans une grande partie de la Chine, de Taiwan, de la Corée et à l'est de la Russie. Pris collectivement, le *G. max* et le *G. soja* forment le domaine de croisements naturels du soja cultivé.

### b) *Répartition géographique des cultures ; principales zones de production*

En dehors de l'Asie, le soja est resté davantage une curiosité qu'une culture jusqu'à notre siècle. Aujourd'hui, la culture mondiale annuelle de soja dépasse cinquante millions d'ha. Les principales nations productrices de soja comprennent les États-Unis, le Brésil, la Chine, l'Argentine et l'Inde.

### c) *Position taxonomique*

En plus du sous-genre *Soja*, qui comprend à la fois le soja cultivé et le *G. soja*, deux autres sous-genres contiennent des espèces voisines du soja. Le sous-genre *Glycine* comprend six espèces répandues naturellement en Australie, au sud de la Chine, à Taiwan, aux Philippines et dans plusieurs îles du Pacifique Sud. Le sous-genre *Bracteata* comprend un certain nombre de sous-espèces de *G. wightii*, une plante vivace grimpante ressemblant à la vigne présente en Afrique et en Asie du Sud-Est. Cette espèce inclut le «soja vivace» qui présente une certaine utilité en agriculture comme culture fourragère tropicale.

#### **d) Caractéristiques génétiques et cytogénétiques**

Les membres du sous-genre *Soja* (soja sauvage et cultivé) comportent 40 chromosomes. Les membres du sous-genre *Glycine* contiennent soit 40, soit 80 chromosomes. Certains hybrides interspécifiques entre des espèces du sous-genre *Glycine* ont été obtenus par pollinisation manuelle. Dans le sous-genre *Bracteata*, les sous-espèces de *G. wightii* paraissent avoir soit 22, soit 44 chromosomes. Le *Glycine wightii* paraît avoir des chromosomes beaucoup plus grands que les membres des sous-genres *Glycine* et *Soja*.

On n'a observé aucun hybride naturel entre les sous-genres de *Glycine*. Le soja cultivé ne paraît présenter une aptitude naturelle au croisement qu'avec le soja sauvage (*G. soja*). Le *G. soja* et le *G. max* pourraient être taxonomiquement définis comme une espèce unique (Hadley et Hymowitz, 1973).

#### **e) Considérations phytosanitaires liées au transfert du matériel génétique**

Comme beaucoup d'autres cultures de grande valeur agronomique, le soja peut être touché par un certain nombre de maladies importantes du point de vue économique. Les pathogènes comprennent une profusion de champignons, d'organismes bactériens et viraux (dont beaucoup peuvent être transportés par les graines), de nématodes et d'autres organismes du sol (qui peuvent se déplacer avec les graines dans des agrégats de sol). La septoriose du soja (*Septoria glycines*), le mildiou (*Peronospora manshurica*) et le chancre de la tige (*Diaporthe phaseolorum*) figurent parmi les pathogènes fongiques qui peuvent se disséminer à travers les graines de soja infectées (Athow, 1973). La bactériose du soja (*Pseudomonas glycinea*) est probablement la maladie du soja qui est le plus couramment transmise par les graines (Kennedy et Tachibana, 1973). Le virus de la mosaïque du soja, qui provoque communément une décoloration du tégument de la graine autour du hile du soja (cicatrice du placenta) est probablement le virus le plus courant transporté par les graines (Dunleavy, 1973). Le virus de la mosaïque du soja est largement répandu dans les zones de production de soja. Comme les maladies transportées par les graines déjà mentionnées, la pourriture des racines *Phytophthora* (*Phytophthora megasperma*), un pathogène fongique des racines, et le nématode à kystes du soja (*Heterodera glycines*), un pathogène important (Good, 1973), peuvent vraisemblablement se déplacer avec les agrégats de sol lors des expéditions de semences ou de graines.

De nombreux pathogènes du soja sont bien établis dans les anciennes régions de production d'Amérique du Nord et d'Asie. Des précautions phytosanitaires lors des mouvements des graines, de sol et d'inoculum permettent de réduire la diffusion des maladies dans de nouvelles zones de production de soja non infectées.

#### **f) Utilisations finales actuelles**

Le soja est devenu une culture importante pour l'industrie, l'alimentation humaine et l'alimentation animale. La graine de soja contient environ 40 pour cent de protéines, 21 pour cent de matières grasses, 34 pour cent d'hydrates de carbone et 5 pour cent de cendre (Orthofer, 1978). Avant 1900, le soja était utilisé en Orient pour sa valeur médicinale et alimentaire. Les aliments préparés à partir du soja incluaient des boissons, des pâtes, des assaisonnements fermentés (par exemple la sauce de soja) et divers caillés de soja.

Si l'huile et la farine de soja ont été introduits en Europe au XVIII<sup>e</sup> siècle, on s'est peu intéressé à la production ou à la transformation du soja en dehors de l'Orient avant le XIX<sup>e</sup> siècle. Le Japon utilisait les tourteaux de soja comme engrais à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, à peu près au moment où la production de soja s'est implantée dans l'est des États-Unis. Entre 1930 et 1945, aux États-Unis, le soja a été progressivement utilisé pour l'huile et la farine de soja dégraissée plutôt que comme fourrage.

L'huile de soja reste une huile végétale comestible courante utilisée dans de nombreuses matières grasses et oléagineuses raffinées. Les phospholipides du soja (sous-produit de la transformation de l'huile de soja) sont commercialisés sous forme de lécithines, avec des applications alimentaires dans les émulsifiants, les agents mouillants, les antioxydants, les agents dispersants et les agents antiéclaboussants (Smith, 1989). De nombreux autres sous-produits de l'huile ont des applications industrielles et ménagères.

La valeur nutritionnelle des tourteaux de soja dégraissée dans l'alimentation des porcs et des volailles a été reconnue peu après la Seconde Guerre mondiale. Aujourd'hui, la plus grande partie des tourteaux de soja est utilisée comme une source de protéines dans l'alimentation du bétail. La graine entière concassée trouve également des applications comme aliment pour le bétail, notamment là où les coûts de transport jusqu'aux installations de broyage justifient une consommation «à la ferme». Le soja complet grillé fournit à la fois des protéines et des éléments énergétiques hautement digestes dans les rations des volailles et des porcs. Les protéines du soja (isolées du tourteau de soja) sont aussi employées pour un nombre croissant d'applications alimentaires et médicales. Le soja continue aussi à être la source de plusieurs produits alimentaires «orientaux» traditionnels (le tofu, le miso, etc.) dont la popularité s'accroît dans le monde entier.

## **Mécanismes de reproduction**

### ***a) Modes de reproduction et de pollinisation***

Le soja et son espèce voisine sauvage (parent potentiel) *G. soja* sont des plantes annuelles autocompatibles. Fehr (1980) estime que la fréquence de croisements hétérogènes du soja se situe entre 0.5 et 1 pour cent. La pollinisation croisée naturelle entre les sojas requiert des insectes pollinisateurs. Erickson (1976) a signalé que les abeilles sont attirées par les fleurs de certaines variétés de soja. Les plants de soja mâles-stériles (qui ne sont pas cultivés pour le commerce) peuvent approcher une production de graines normale en présence de plants mâles-fertiles (sources de pollen) si un grand nombre d'abeilles ou d'autres insectes vecteurs sont disponibles et si les conditions climatiques sont adéquates (Davis, communication personnelle).

### ***b) Mécanismes de dispersion et de survie des propagules***

Le soja, tout comme *G. soja*, se multiplie uniquement par les graines. Le soja cultivé, tout comme le soja sauvage, disperse ses graines par égrenage spontané de la gousse. La forme cultivée disperse les graines dans certaines conditions climatiques si la récolte est retardée. Le soja sauvage disperse rapidement ses graines quand la gousse est mûre. Les graines du soja cultivé survivent mal dans le sol (normalement moins d'un an). Il est possible que les graines plus petites du soja sauvage survivent plus longtemps, mais on manque de données à ce sujet.

### **c) Aptitude au croisement avec des espèces apparentées**

Comme il est mentionné plus haut, le soja et *G. soja* sont entièrement aptes au croisement et peuvent être considérés comme des représentants cultivés et sauvages d'une seule espèce dans le sous-genre. On n'a remarqué aucun hybride naturel entre le soja ou *G. soja* et d'autres espèces du genre *Glycine*. Des tentatives d'hybrider le soja avec les espèces *Glycine* autres que le *G. soja* donnent à penser qu'il existe un degré élevé d'inaptitude au croisement interspécifique; lorsqu'ils sont réussis, les hybrides sont stériles (Kenworthy, 1989).

### **Toxicologie**

Comme toutes les protéines d'oléagineux, le soja contient des toxines naturelles (Smith, 1989), et le soja brut peut empêcher la croissance, diminuer l'absorption des graisses, provoquer l'hypertrophie du pancréas et stimuler l'hypersécrétion des enzymes pancréatiques dans les organismes monogastriques (volailles, porcs, rats, etc.). Les inhibiteurs de trypsine (inhibiteurs de protéinase) sont les plus actifs; ils sont inactivés en les portant à 100 °C pendant 15 minutes ou par cuisson à la vapeur à pression atmosphérique avec une humidité de 25 pour cent pendant 20 minutes. Le tourteau de soja grillé ne manifeste normalement pas les propriétés nutritionnelles indésirables associées aux inhibiteurs actifs de trypsine. Il existe une variation génétique pour certains inhibiteurs de trypsine de soja, mais les obtenteurs ne l'ont en général pas exploitée du fait de l'efficacité de la transformation du soja (traitements par la chaleur).

Les constituants phénoliques, les saponines, l'acide phytique et les hémagglutinines sont d'autres agents actifs (Orthofer, 1978). Les hémagglutinines peuvent provoquer l'agglutination des globules rouges *in vitro*, bien qu'il n'y ait aucune preuve d'agglutination des globules rouges suivant l'ingestion d'hémagglutinines de soja. Les saponines du soja (glucosides d'alcools triterpénoïdes) ne sont pas absorbées à la digestion. Les constituants phénoliques comprennent la génistine et la daidzine, qui peuvent manifester de faibles niveaux d'activité oestrogénique. L'importance des composés phénoliques dans les rations du bétail ou dans l'alimentation humaine est encore inconnue.

### **Exigences écologiques des cycles de vie**

#### **a) Restrictions climatiques à l'extension de la culture**

Plante annuelle, le soja est adapté aux régions agricoles allant des zones équatoriales aux zones tempérées. Le soja pousse le plus rapidement lorsque les températures ambiantes se situent entre 25 et 30 °C. La photosynthèse diminue fortement quand les températures dans la frondaison du soja approchent les 40 °C. Le soja est très sensible au gel au cours de la période de végétation et quelque peu sensible à une sécheresse excessive et à des inondations prolongées.

#### **b) Restrictions biologiques à une plus grande extension géographique**

Comme le soja est une légumineuse, il peut fixer l'azote de l'atmosphère pour favoriser sa croissance et son développement grâce à un rapport symbiotique avec le *Bradyrhizobium japonicum*. Lorsqu'il est cultivé dans de nouvelles zones de production, les graines sont normalement inoculées avec du *B. japonicum* avant d'être plantées.

Les graines de soja se dégradent rapidement quand elles sont stockées à des températures approchant 40 °C. Le soja a des difficultés à germer lorsque les températures du sol dépassent les 42 °C (Whigham et Minor, 1978). Il est également sensible à un certain nombre de carences nutritionnelles ; normalement, celles-ci peuvent être compensées en ajustant le pH du sol et/ou les épandages d'engrais.

Le soja est sensible à la photopériode et est typiquement une espèce annuelle de «jours courts». La plupart des variétés retardent leur floraison lorsqu'ils sont exposés à des photopériodes plus longues et accélèrent leur floraison lorsqu'ils sont exposés à des photopériodes plus courtes. Les variétés de soja sont à présent couramment classés en treize groupes de maturité (MG) de MG 000 à MG X. Le soja du groupe MG 000 est adapté aux photopériodes les plus longues (les plus hautes latitudes) tandis que le soja du groupe MG X est adapté à des photopériodes plus courtes (zone équatoriale). Quand un variété de soja d'un haut MG est cultivé à une latitude élevée, il en résulte un retard de floraison et une reproduction (maturation des graines) en général non réussie. Au contraire, une floraison accélérée et une maturité précoce avec de faibles rendements en graines se produisent lorsqu'un variété de faible MG est cultivé dans une zone tropicale ou subtropicale.

Pour les latitudes plus élevées, les obtenteurs continuent à mettre au point des sojas avec une maturité plus précoce, une moindre sensibilité à la photopériode et une plus grande tolérance au froid. Au cours de la prochaine décennie, un soja de MG 0000 pourrait apparaître pour les zones maritimes des latitudes élevées.

## **B. Méthodes de sélection actuelles et recherches sur la création variétale**

### **a) Principales techniques de sélection**

#### *i) Conservation des ressources génétiques*

Les systèmes de sélection du soja ressemblent à ceux des autres cultures à graines autofécondées (comme le blé, l'orge et les cacahuètes). Les obtenteurs de soja doivent faire appel au matériel génétique disponible dans les variétés actuels et dans les collections de soja conservées dans des organismes de nombreux pays. En Chine, les collections comprennent plus de 15 000 entrées de *G. max* et 1 000 entrées de *G. soja* ; les États-Unis conservent plus de 11 000 entrées de *G. max* et près de 700 de *G. soja*.

Comme les sojas sauvages et domestiqués étaient essentiellement répandus en Chine, à Taiwan, au Japon, en Corée et en Russie avant notre siècle, il a fallu procéder à la collecte et au catalogage du matériel génétique du soja avant d'entreprendre des programmes de sélection de soja partout ailleurs. L'USDA entretient deux collections bien fournies, une pour les sojas à maturité précoce (MG 000-MG IV) à Champagne-Urbana dans l'Illinois, l'autre pour les sojas qui mûrissent plus tard à Stoneville dans le Mississippi.

#### *ii) La sélection*

La plupart des activités de sélection du soja sont orientées vers le développement de variétés améliorées. Les programmes de sélection de base comprennent la mise au point de populations (ordinairement, des populations récurrentes de sélection) pour la modification progressive de caractéristiques importantes mais complexes (par exemple, la teneur

en protéines et en huile). D'autres activités des programmes de sélection de base comprennent la mesure de l'héritabilité, la création et l'évaluation d'une nouvelle variabilité génétique et la production de génotypes spécifiques à des fins de recherche ou de conservation du matériel génétique.

### *iii) La création variétale*

Les programmes de développement de variétés de soja suivent les démarches de sélection de base des espèces autofécondées. Des populations génétiquement variables sont produites par hybridation artificielle suivie d'une sélection consanguine. Les populations génétiquement variables (en ségrégation) sont soumises à une pression de sélection en faveur des caractéristiques agronomiques et de qualité désirées à mesure que les populations consanguines se reproduisent par autofécondation. A mesure que les populations de sélection approchent l'homozygotie, on évalue la performance agronomique des lignées supérieures dans des essais de performances répétés et ultérieurement dans des essais de performance sur des emplacements multiples. Les lignées présentant une performance agronomique ou des caractéristiques de qualité supérieures sont multipliées dans des conditions contrôlées pour accroître les stocks de semences à usage commercial et pour conserver la pureté génétique.

Dans les programmes de sélection de soja publics et commerciaux, les procédures particulières employées pour la mise au point des variétés varient beaucoup. Des caractères hérités simples comme la résistance aux maladies sont couramment sélectionnés dans les variétés existants par rétrocroisement. Lorsque plusieurs caractères sont combinés à partir de deux ou plusieurs variétés parentes, des hybrides obtenus à partir de croisements simples, à trois parents, doubles ou autres, peuvent être sélectionnés au moyen de plusieurs procédures pour fournir des lignées homozygotes. Des méthodes couramment employées comprennent la sélection massale, la sélection généalogique («pedigree method»), avec ou sans essais sur les premières générations, la sélection par filiation unipare et la sélection par filiation unipare modifiée. Toutes ces méthodes produisent une profusion de lignées (sélection confirmée) homozygotes, mais varient par la durée pendant laquelle la sélection se fait.

### *iv) Techniques particulières*

Comme les sojas sont essentiellement autofécondés, l'hybridation entre les parents employés implique généralement l'émasculatation (suppression des anthères) des fleurs de l'un des parents (parent femelle) et le transfert artificiel du pollen de l'autre parent (mâle). Les hybridations de soja sont ordinairement entreprises dans des salles à environnement contrôlé ou dans des serres, mais on peut les réaliser dans des pépinières (si les parents impliqués appartiennent au même groupe de maturité ou à des groupes voisins). Si les parents proviennent de groupes de maturité très différents, les dates de plantation devront être étalées pour synchroniser les périodes de floraison. Une autre solution consiste à diminuer artificiellement la photopériode pour les parents à maturation plus lente afin d'accélérer la floraison.

Une plante hybride se reproduit pour former une population en ségrégation (ségrégation et recombinaison des gènes). La mise au point d'une nouvelle variété implique habituellement la reproduction en consanguinité de cette population pendant trois à sept générations, pendant lesquelles on applique la sélection, et les individus de la population deviennent de plus en plus homozygotes (sélection confirmée). Les croisements entre

individus génétiquement proches nécessitent en général moins de générations de sélection par consanguinité que les croisements entre individus génétiquement éloignés pour devenir une sélection pure.

Des pépinières d'hiver sont utilisées pour la reproduction consanguine rapide des populations de soja en sélection. Comme le soja est sensible à la photopériode, les programmes de sélection dans les zones tempérées peuvent se servir d'une pépinière d'hiver tropicale pour une progression rapide des générations d'hiver. Par exemple, un programme cultive des hybrides  $F_1$  en été au Canada, puis deux générations de reproduction consanguine ( $F_2$  et  $F_3$ ) entre octobre et mai en Amérique centrale. Bien que la sélection soit moins efficace dans les pépinières d'hiver tropicales, la reproduction consanguine accélère le mouvement vers l'homozygotie, améliorant ainsi l'efficacité de la sélection dans la génération  $F_4$  au Canada (juin à septembre). Dans ce programme, la reproduction se fait par consanguinité et les individus sont choisis dans les générations  $F_4$  et  $F_5$ . Les descendants des plants  $F_5$  sélectionnés (à partir de croisements entre individus génétiquement proches) sont conservés et évalués en tant que lignées dérivées de  $F_5$  (variétés potentielles).

### **b) Principaux objectifs de la sélection**

Les objectifs de chaque programme de sélection de soja varient beaucoup. Du fait que le soja est sensible à la photopériode, chaque lignée de sélection sera normalement adaptée à quelques degrés de latitude seulement. Les objectifs de la sélection comprennent généralement les caractéristiques de performance, de qualité et de stabilité nécessaires pour la zone d'adaptation. Ils peuvent inclure la résistance nécessaire ou souhaitable aux maladies associées à une zone de production particulière, la résistance aux stress physiques rencontrés dans la région, de meilleures caractéristiques pour la récolte (résistance à la verse ou plus grande hauteur de la gousse sur la tige) ou pour le rendement et des caractéristiques particulières souhaitées sur le marché (par exemple, pour une utilisation alimentaire spéciale dans le tofu, le natto ou des produits oléagineux spéciaux).

La tolérance du soja aux herbicides a fait l'objet d'une attention considérable ces dernières années. La lutte contre les plantes adventices peut diminuer les rendements, notamment dans la production en lignes étroites qui rend difficile la culture entre les lignes. La variabilité naturelle du soja pour ce qui est de la tolérance à certains herbicides (par exemple, la métribuzine) est bien connue. Les mutations et les transformations de la plante ont fourni de nouvelles sources de tolérance génétique aux herbicides, y compris une résistance à la sulfonilurée (Sebastian *et al.*, 1989) et aux herbicides du type glyphosate. Une nouvelle résistance génétique aux herbicides pourrait fournir l'occasion aux producteurs de lutter contre les plantes adventices à moindres frais et avec moins de risques écologiques et toxicologiques.

Les caractéristiques de composition et de qualité ont aussi reçu récemment une attention accrue. Les obtenteurs ont identifié, créé ou employé la variabilité génétique pour un certain nombre de ces caractéristiques, y compris la teneur en huile et en protéines, la composition en acides gras de l'huile (Rennie et Tanner, 1989), des facteurs antinutritionnels (Orf, 1989) et des qualités gustatives pour les produits destinés à l'alimentation humaine (Wilson, 1989).

### ***c) Évaluation des performances générales du matériel de sélection***

La sélection (pendant et après la reproduction consanguine) et l'évaluation des variétés potentielles représentent des aspects importants de la sélection du soja. Une fois choisies, les lignées subissent des évaluations de composition et de performance lors d'un nombre croissant d'essais avec répétitions dans les zones d'adaptation potentielle, et à proximité. Les lignées supérieures sont normalement diffusées pour être multipliées commercialement après deux à cinq ans d'essais d'évaluation. Ces évaluations sont en général réalisées par des essais en coopération parmi ou dans les organismes ou entreprises de sélection. Comme de nombreuses caractéristiques importantes du soja sont influencées par l'environnement, les évaluations des variétés candidates impliquent ordinairement dans chaque essai d'évaluation des comparaisons de performance et de qualité avec les variétés déjà acclimatés.

Les mesures nationales régissant la diffusion des variétés commerciales de soja varient. Plusieurs nations ont des exigences de performance et de qualité bien définies qui doivent être respectées par les variétés candidates avant enregistrement et exploitation commerciale (par exemple, le Canada, l'Italie, la France), tandis que d'autres n'ont que peu ou pas du tout d'exigences particulières (par exemple les États-Unis).

## **C. Multiplication des semences à usage commercial**

### ***a) Étapes de la production***

Une nouvelle variété de soja est normalement disponible sur le marché lorsque la semence d'obteneur (de prébase) reçoit l'aval de l'organisme de sélection ou de l'organisme associé de multiplication des semences. Elle peut également être rendue disponible par la division de la production de semences d'une entreprise commerciale de sélection du soja. Les semences d'obteneur d'une variété potentielle de soja sont formulées, conservées et multipliées de façon à préserver les caractéristiques génétiques de la variété au cours des générations. La multiplication des semences d'obteneur en quantités commerciales implique habituellement le passage par trois ou quatre catégories (semences d'obteneur > semences sélectionnées > semences de base > semences enregistrées > semences certifiées). Si la variété est adaptée à un petit marché, une ou deux catégories de semences (par exemple enregistrées) peuvent être supprimées.

### ***b) Pratiques d'isolement***

La distance d'isolation et les exigences de succession des cultures pour la multiplication des semences de soja (habituellement quelques mètres et une à deux années) varient avec la catégorie de semences et les normes locales, mais sont ordinairement moins rigoureuses que pour les cultures présentant de plus hautes fréquences de croisements hétérogènes et/ou une vie latente de semence plus grande.

### ***c) Surveillance du comportement des variétés; durée de vie***

Au cours de la multiplication, les variétés continuent à subir l'évaluation des caractéristique de performance et de qualité. Après la mise sur le marché, les évaluations continuent, en général pendant toute la vie commerciale d'une variété (5 à 20 ans), par des essais d'évaluation des variétés publics ou privés en coopération.

## Références

- ATHOW, K.L. (1973), «Fungal diseases» dans B.E. Caldwell, dir. pub., *Soybeans : Improvement, Production, and Uses*, American Society of Agronomy, n° 16, pp. 459-490.
- DUNLEAVY, J.M. (1973), «Viral diseases» dans B.E. Caldwell, dir. pub., *Soybeans : Improvement, Production, and Uses*, American Society of Agronomy, n° 16, pp. 505-526.
- ERICKSON, E.H. (1976), «Bee pollination of soybeans» dans *Proceedings of the Sixth Soybean Seed Research Conference, 1976*, American Seed Trade Association Publication, n° 6, pp. 46-49.
- FEHR, W.R. (1980) «Soybean» dans W.R. Fehr et H.H. Hadley, dir. pub., *Hybridization of Crop Plants*, American Society of Agronomy, Inc. et Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, pp. 589-600.
- GOOD, J.M. (1973), «Nematodes» dans B.E. Caldwell, dir. pub., *Soybeans : Improvement, Production, and Uses*, American Society of Agronomy, n° 16, pp. 527-543.
- HADLEY, H.H. et T. HYMOWITZ (1973), «Speciation and cytogenetics» dans B.E. Caldwell, dir. pub., *Soybeans : Improvement, Production, and Uses*, American Society of Agronomy, n° 16, pp. 97-115.
- HYMOWITZ, T. (1970), «On the domestication of soybean», *Economic Botany*, vol. 24, pp. 408-421.
- KENNEDY, B.W. et F. TACHIBANA (1973), «Bacterial diseases» dans B.E. Caldwell, dir. pub., *Soybeans : Improvement, Production, and Uses*, American Society of Agronomy, n° 16, pp. 491-504.
- KENWORTHY, W.J. (1989), «Potential genetic contributions of wild relatives to soybean improvement» dans A.J. Pascale, dir. pub., *World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, pp. 883-888.
- PASCALE, A.J. et A.C. RAVELO (1989), «A world agroclimate classification for soybean», dans A.J. Pascale, dir. pub., *World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, pp. 112-123.
- ORF, J.H. (1989), «Breeding soybeans lacking antinutritional factors» dans A.J. Pascale, dir. pub., *World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, pp. 1091-1100.
- ORTHOEFER, F.T. (1978), «Processing and utilization» dans A.G. Norman, dir. pub., *Soybean Physiology, Agronomy, and Utilization*, Academic Press, Inc., New York, pp. 219-246.
- RENNIE, B.D. et J.W. TANNER (1989), «Mapping a second fatty acid locus to soybean linkage group 17», *Crop Science*, vol. 29, pp. 1081-1083.
- SEBASTIAN, S.A., G.M. FADER, J.F. ULRICH, D.R. FORNEY et R.S. CHALEFF (1989), «Semi-dominant soybean mutation for resistance to sulfonylurea herbicides», *Crop Science*, vol. 29, pp. 1403-1408.
- SMITH, K.J. (1989), «Importance of soybean meal in world feed markets» dans A.J. Pascale, dir. pub., *World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, pp. 1737-1741.

- WHIGHAM, D.K. et H.C. MINOR (1978), «Agronomic and environmental stress» dans A.G. Norman, dir. pub., *Soybean Physiology, Agronomy, and Utilization*, Academic Press, Inc., New York, pp. 77-118.
- WILSON, J.C. (1989), «The commercial utilization of soybeans, soymilk and soymilk derivatives» dans A.J. Pascale, dir. pub., *World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, pp. 1750-1761.

## 2. Le blé

*par*

James Cook, V.A. Johnson et R.E. Allan

### A. Caractéristiques de la plante

#### a) *Origine géographique ; position taxonomique*

Le blé appartient à la classe des angiospermes, sous-classe des monocotylédones, famille des graminées. Au sein de cette dernière, il fait partie de la tribu des hordées et du genre *Triticum*. Le nom des différentes espèces de blé est donné dans le tableau 2.1 à la fin du chapitre.

Le centre d'origine géographique du blé semble être l'ouest de l'Iran, l'est de l'Irak, et le sud et l'est de la Turquie. Certains des premiers blés cultivés (primitifs) de cette région étaient des diploïdes, l'engrain *Triticum monococcum*, le tétraploïde *Triticum turgidum* var. *dicoccum*, ou amidonnier, et l'hexaploïde épeautre (*T. aestivum* var. *spelta*).

La culture de l'engrain est attestée, au septième millénaire avant J.-C., au Kurdistan iraquien, dans le sud-est de la Turquie et dans le sud des Balkans. Elle était également pratiquée par la toute première civilisation des plaines de Mésopotamie; elle se serait propagée en Europe par l'intermédiaire de la vallée du Danube et de celle du Rhin. L'amidonnier était la principale céréale cultivée par les premiers agriculteurs du Proche-Orient. C'est probablement par l'intermédiaire des régions montagneuses du Croissant Fertile qu'il est parvenu dans les plaines de Mésopotamie au sixième millénaire avant J.-C., d'où il a été introduit en Égypte, en Europe, en Asie centrale et en Inde aux cinquième et quatrième millénaires. D'après les données archéologiques, divers épeautres auraient été cultivés dans la région du Haut-Rhin au cours du deuxième millénaire avant J.-C.

De nos jours, si des races locales de blé diploïdes sont probablement cultivées en même temps que des races locales de blé tétraploïdes ou hexaploïdes dans la région d'origine géographique du blé, toutes les espèces de blés cultivés pour le commerce sont hexaploïdes ou tétraploïdes. Le grain de beaucoup d'espèces de blé cultivé primitifs, y compris l'engrain, l'amidonnier et l'épeautre, est vêtu, alors que le grain des espèces de blé moderne, y compris les blés durs, les blés hérissons et les blés tendres, est à grain libre.

## **b) Répartition géographique des cultures ; principales zones de production**

La production mondiale du blé dépend du comportement de centaines de variétés spécifiquement sélectionnées et choisies pour leur capacité de rendement et pour certains caractéristiques d'utilisation finale (qualité) recherchées en fonction des contraintes locales liées au climat, au temps, aux parasites, aux maladies et à l'état du sol. Ces variétés de blé sont continuellement remplacées ou mises à jour par un réseau mondial de programmes de sélection publics ou privés en réponse aux fluctuations du marché et aux stress imposées par l'évolution de la nature des maladies et des parasites et des techniques de cultivation. Une nouvelle variété de blé peut être diffusée lorsqu'on a démontré dans des essais d'évaluation des performances qu'elle est supérieure à l'équivalent le plus proche déjà disponible et cultivée dans la région. Les variétés de blé ont tendance à être spécifiques au milieu ; même celles les plus largement adaptées sont limitées à des zones ou à des milieux géographiques spécifiques et sont totalement dépendantes des méthodes de cultivation pour donner leur plein potentiel.

Le blé dur (*T. turgidum* var. *durum*) est un tétraploïde à grain libre, qui a commencé de remplacer l'engrain vêtu au Proche-Orient vers 1 000 avant J.-C. Aujourd'hui, il est cultivé pour la semoulerie en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique du Nord, en Asie et au Proche-Orient.

Les blés hérissons (*Triticum aestivum* var. *compactum*), appelés ainsi en raison de la forme de leur inflorescence (épi), sont des blés hexaploïdes. Contrairement aux blés tendres (*T. aestivum* var. *aestivum*), qui sont caractérisés par la position alternée et régulière des épillets sur le long rachis de l'épi, les épis des blés hérissons ont un rachis court sur lequel les épillets sont très serrés. Aussi se distinguent-ils des blés tendres par leurs épis plus courts, plus compacts, et comprimés latéralement. On pense qu'ils étaient communs au néolithique et à l'Âge du bronze.

## **c) Caractéristiques génétiques et cytogénétiques**

Le nombre chromosomique de base du blé est 7. Ainsi, les blés diploïdes sauvages ont 14 chromosomes, l'amidonniér tétraploïde et les blés durs modernes en ont 28, et les blés communs hexaploïdes en ont 42.

Les blés tétraploïdes résultent d'un croisement rare mais naturel entre deux espèces de blés diploïdes. Par une hybridation naturelle les chromosomes d'une espèce diploïde se sont combinés avec ceux d'une autre espèce diploïde dans un processus appelé l'amphidiploïdie. A des fins scientifiques, les génomes des différentes espèces diploïdes sauvages ont été dénommés AA, BB, CC, DD, etc. par les cytologistes. Une espèce diploïde ayant le génome AA produirait, par exemple, par un croisement normal avec une espèce diploïde ayant le génome BB, un hybride diploïde ayant le génome AB, qui serait stérile. Dans de rares cas, les chromosomes se dédoublent spontanément pour produire l'hybride tétraploïde AABB, qui est fertile.

Les blés hexaploïdes ont résulté du même processus : un diploïde ayant le génome DD a combiné avec un tétraploïde ayant le génome AABB pour produire un hybride hexaploïde ayant le génome AABBDD. Ce processus peut être reproduit expérimentalement en laboratoire. En outre, les chromosomes du seigle diploïde (*Secale cerealis*) peuvent être cytologiquement substitués à des chromosomes du génome du blé hexaploïde, notamment aux chromosomes IA et IB, comme source de gènes codant pour la résistance aux maladies ou aux parasites ou pour d'autres caractères. D'autres substitu-

tions sont cytologiquement possibles, mais les descendants sont généralement stériles, ou les types de plants sont considérés comme trop éloignés ou différents du blé agronomiquement souhaité pour être utiles comme parents dans un programme de sélection. Cependant, une espèce créée ainsi, le triticales, s'est avérée adaptable à la culture. Le triticales est un hybride hexaploïde fertile entre le blé et le seigle. Des hybrides fertiles de blé et de seigle qui sont des octoploïdes ont aussi été produits.

#### ***d) Utilisations finales***

On a estimé que les deux tiers de la population mondiale dépendent du blé et du riz pour leur nourriture de base. La graine de blé est transformée en farine, le principal constituant d'une variété de produits cuits avec ou sans levain : des pâtes, des nouilles et des céréales. Chacun des produits alimentaires à base de blé impose ses propres exigences de qualité à la farine avec laquelle il est fabriqué. Les caractéristiques de transformation sont par conséquent une composante essentielle des programmes de sélection du blé. Dans tout le monde occidental industrialisé, les variétés de blé sont sélectionnées et choisies pour des caractères de qualité spécifiques en fonction de leur utilisation finale. L'acceptation commerciale de nouvelles variétés de blé dépend étroitement de la qualité de la transformation du grain ainsi que du rendement en grains et des caractères agronomiques.

La plupart des pays utilisent des catégories commerciales basées sur la teneur en protéines des grains. Aux États-Unis et au Canada, par exemple, les variétés de blé sont divisés en blé dur de printemps, en blé dur d'hiver, en blé blanc (de printemps, d'hiver, ramifié et de type vitreux ou farineux) et en blé farineux d'hiver et en blé dur. Les blés à teneur élevée en protéines (13 à 16 pour cent) sont utilisés pour faire du pain, et les blés à teneur relativement faible en protéines (8 à 11 pour cent) sont en général utilisés pour les pâtisseries, les biscuits sucrés ou salés, les galettes et les nouilles orientales. Le blé dur est utilisé pour la semoule. La teneur en protéines tout comme la qualité protéique du grain de blé sont des caractères hérités de manière complexe. Toutes deux sont fortement influencés par le milieu de production. Les différences de qualité ont une incidence sur le commerce mondial du blé. La forte importation du blé de printemps à teneur élevée en protéines provenant du Canada et des États-Unis par les pays de l'Europe occidentale, est due à la teneur élevée en protéines et la qualité des protéines du blé canadien et américain.

### **Mécanismes de reproduction**

#### ***a) Mode de reproduction***

Le blé est une plante monoïque à fleurs parfaites. Elle se reproduit par voie sexuée, par autofécondation (espèce autogame). Une certaine pollinisation croisée existe, mais celle-ci est généralement inférieure à 3 pour cent.

Le blé est une plante annuelle. Certaines plantes apparentées, génétiquement éloignées, sont pérennes ; des blés pérennes ont également été mis au point par des manipulations cytologiques impliquant des substitutions chromosomiques avec des espèces sauvages apparentées. Le caractère pérenne est génétiquement complexe. Aucun programme contemporain d'amélioration du blé n'a sérieusement envisagé de mettre au point des blés

pérennes, car il n'y aurait alors plus la possibilité de lutter contre les parasites et les maladies par la rotation des cultures et le changement de variété.

Le blé présente deux types de développement : hiver ou printemps. Les «blés d'hiver» sont semés à l'automne et fructifient au printemps ou en été de l'année suivante. Pour passer de la phase végétative à la phase reproductrice, ils ont besoin d'une période de vernalisation (températures avoisinant 0 °C, ou légèrement inférieures à 0 °C), ainsi que d'une somme minimale de degrés-jours et/ou d'une durée minimale de la photopériode. La somme des degré-jours correspond au nombre total de jours  $\times$  la température moyenne au-dessus de 0 °C. Les «blés de printemps» sont semés au printemps et fructifient durant l'été. Pour passer de la phase végétative à la phase reproductrice, ils requièrent une somme minimale de degré-jours et/ou d'une durée minimale de la photopériode, mais n'ont aucun besoin de vernalisation.

### ***b) Mécanismes de dispersion et de survie***

Chez le blé, le point de croissance de chaque tige (tige principale et talles) ne s'allonge pas tant que la plante n'est pas passée de la phase végétative à la phase reproductrice. Le besoin de vernalisation est donc un mécanisme de survie pour les blés qui forment des plantules à l'automne et produisent des épis fertiles au printemps ou en été de l'année suivante (blés d'hiver); il empêche les zones de croissance des plantes, sensibles au gel et au froid, de s'allonger tant que les risques de destruction par le gel ou le froid subsistent. De nos jours, les blés d'hiver sont cultivés dans des zones tempérées à hiver doux, tandis que les blés de printemps sont cultivés dans des zones où les hivers sont trop rigoureux pour permettre au blé de survivre (par exemple, les Grandes Plaines septentrionales de l'Amérique du Nord), ou trop chauds pour qu'il puisse subir une vernalisation (par exemple, régions tropicales et subtropicales).

La multiplication du blé est assurée par des semences produites par voie sexuée. Les inflorescences (épis) des blés sauvages et de certains blés primitifs ont tendance à disperser leurs semences sur le sol par «égrenage», ce qui est un moyen d'auto-multiplication. Cette tendance à l'égrenage a été éliminée de la plupart des blés cultivés modernes, afin que les épis soient intacts à la récolte. Les variétés qui répandent leurs semences sur le sol ne sont pas acceptables. Les semences de blé peuvent être transportées par les oiseaux et les animaux, mais pas par le vent.

Le mécanisme de survie des semences des blés sauvages et des blés primitifs consiste en la formation d'inhibiteurs de germination au cours de la maturation des graines, pour empêcher aussi bien leur germination sur pied que leur germination précoce dans le sol. L'expression de ce facteur de dormance est maximale lorsque les températures sont élevées (au-dessus de 25 °C), ce qui donne aux blés une plus grande chance de survivre dans leur habitat naturel, dans les régions où prédominent des blés de type «hiver». Ce facteur de dormance disparaît progressivement et/ou cesse d'être produit ou exprimé à mesure que le sol se refroidit et que les conditions de développement de la plantule deviennent plus favorables. Les blés cultivés modernes ont été sélectionnés pour l'expression de la dormance des semences dans les zones où existe un risque de germination sur pied, et pour un faible niveau ou une absence de dormance des semences dans les zones où le blé est semé sur un lit de semences chaud.

### c) *Aptitude au croisement avec des espèces apparentées*

Les variétés de blé connaissent une faible fréquence d'allofécondation par le pollen provenant d'une plante adventice voisine, l'*Aegilops cylindrica*, à condition qu'ils se trouvent dans la zone de dispersion du pollen. L'*Aegilops cylindrica* est un parent diploïde du blé qui se trouve associé au blé cultivé dans une zone étendue à l'ouest du Mississippi aux États-Unis et dans la partie limitrophe du Canada. Certaines variétés de blé sont plus enclines que d'autres à la stérilité mâle et de ce fait aux croisements hétérogènes. Les hybrides de blé  $\times$  *A. cylindrica* sont stériles, mais certains sont femelles fertiles et peuvent donc encore subir une fécondation croisée. Avec un nombre suffisant de générations et des croisements hétérogènes répétés, un individu autofertile possédant des caractères à la fois du blé et d'*Aegilops cylindrica* est possible.

### **Toxicologie**

Certaines personnes sont allergiques au gluten de blé consommé sous forme alimentaire, tandis que d'autres le sont au pollen de blé en suspension dans l'air. En dehors de ces deux types d'allergie courants et relativement bien compris, le blé n'a aucun effet toxique connu sur les hommes ou sur les animaux.

### **Exigences écologiques des cycles de vie**

#### a) *Restrictions climatiques à l'extension de la culture*

Le blé hexaploïde cultivé de nos jours est peut-être, de toutes les plantes cultivées, celle qui a été le plus largement adaptée. En dehors de son aire normale de culture en climat tempéré, il est cultivé comme plante de grande culture jusqu'à des latitudes nord et sud élevées, ainsi qu'en altitude dans les régions tropicales. Il est bien adapté aux conditions de l'aridoculture, et, dans certaines régions, il est produit sur jachère avec des précipitations ne dépassant pas 150-200 mm par an. Il est incapable de survivre à des températures inférieures à  $-10$  °C ou supérieures à 40 °C. Au-dessus de 31-32 °C, la respiration est supérieure à la photosynthèse. Il réagit bien à l'irrigation, mais est impropre à la culture sur sols engorgés.

Bien que le blé soit largement adapté sur le plan climatique, des variétés génétiquement différentes ont été mises au point afin d'exploiter au mieux les conditions de culture spécifiques de chaque zone climatique. Ainsi, des blés mis au point pour les zones d'altitude en région tropicale ont été sélectionnés pour leur indifférence à la durée de la photopériode, alors que les blés mis au point pour un semis de printemps dans les Grandes Plaines septentrionales ont été sélectionnés pour leur sensibilité à la durée de la photopériode, ainsi que pour leur aptitude à la maturation avec une somme de degrés-jours réduite.

#### b) *Restrictions biologiques à l'extension de la culture*

Certaines variétés de blé ont véhiculé des vulnérabilités imprévues, comme la sensibilité à des maladies ou biotypes nuisibles antérieurement sans importance. Chaque nouvelle variété introduite dans l'agriculture comporte ce risque, mais on le détecte souvent dans les essais de performance en champ. Dans ce cas, l'introduction de la variété dans le domaine agricole n'est pas approuvée. Il existe aussi le risque que des

techniques de culture controversées soient rendues économiquement plus attrayantes par une modification génétique de la variété. Ainsi, l'introduction d'un gène donnant une taille semi-naine au blé a également rendu le blé moins enclin à la verse, ce qui a ouvert la voie à une utilisation intensive d'engrais azotés. Au cours de cette évolution, cependant, le rendement moyen du blé a augmenté de trois à quatre fois dans certaines régions.

## **B. Pratiques actuelles de sélection et recherches sur la création variétale**

### *a) Principales techniques de sélection*

#### *i) La sélection*

La sélection porte actuellement sur trois sortes de variétés de blé : des lignées pures, des lignées multiples et des hybrides. On produit des lignées pures au moyen de croisements suivis de sélections successives pour rendre la lignée génétiquement uniforme (généralement huit à dix générations). Les lignées multiples sont des mélanges de lignées pures. Les hybrides sont produits, soit par la méthode mâle-stérile cytoplasmique, soit par l'utilisation d'un agent d'hybridation chimique. Tous les pays ayant des programmes de sélection de blé n'ont pas approuvé l'utilisation d'agents de hybridation chimiques. Des variétés de lignée pure issus de croisements sont de loin les plus répandues de ces trois types de variétés.

La sélection initiale des candidats de variétés de blé est fondée sur les performances de la descendance en cours de ségrégation, habituellement dans les lignées des quatrième et cinquième générations (aussi désignées lignées  $F_4$  ou  $F_5$ ), dans des tests sur le terrain à petite échelle dans les stations expérimentales locales (en général la station dont relève l'obteneur). Les performances des meilleures lignées génétiques sont alors évaluées pendant un à trois ans dans des pépinières plus élaborées, toujours dans une station expérimentale locale. Chaque année, un très petit nombre de lignées de blé de générations postérieures ( $F_6$ ,  $F_7$ , et  $F_8$ ) est ensuite soumis à des essais d'évaluation des performances effectués dans d'autres endroits et parfois en coopération avec les producteurs. Chaque année, celles qui donnent les meilleurs résultats parmi ces meilleures lignées de blé de générations postérieures, si elles paraissent offrir des possibilités en tant que nouvelles variétés, sont soumises à une évaluation des performances. Des tests régionaux, nationaux ou internationaux sont effectués par des obtenteurs de blé, le service de vulgarisation (comme aux États-Unis) ou un service national d'essai (comme au Royaume-Uni et dans d'autres pays). De nombreux pays de l'OCDE réalisent et exigent des tests nationaux de chaque nouvelle variété de blé avant de l'introduire dans la culture.

Les variétés de blé russe Kavkaz et Aurora résistantes aux maladies ont été largement utilisées par les obtenteurs de blé. La résistance aux maladies est dérivée d'une translocation d'un segment du chromosome IR du seigle avec un segment du chromosome IA ou IB du blé. La translocation altère par ailleurs les qualités utiles à la fabrication du pain et à la manipulation de la pâte à pain.

Les évaluations des performances typiques des pépinières locales, régionales ou nationales font appel à des variétés témoins appropriées, c'est-à-dire aux variétés couramment cultivées dans la région et pouvant être remplacées si elles sont dépassées par une nouvelle variété candidate. Les programmes de sélection produisent généralement au départ des dizaines de milliers de lignées génétiquement uniques ; celles-ci sont alors

réduites à des centaines par sélection dans les essais d'évaluation des performances, puis à moins de dix et finalement à celle qui est introduite pour la culture. Le processus est continu dans le sens qu'un nouveau matériel appartenant aux premières générations résultant d'hybridations entre dans le programme chaque année. Les programmes de sélection privés et publics suivent des protocoles identiques.

### *ii) L'emploi de ressources génétiques exotiques*

La plus sérieuse implication des exigences de haute qualité de grain dans la sélection moderne du blé pourrait être l'impact sur le choix par les obtenteurs de génotypes pour le développement et l'amélioration des variétés. Une grande partie des génotypes de blé du monde possède des caractères qui ne conviennent pas au traitement moderne des grains de blé pour divers produits alimentaires. Les obtenteurs de blé hésitent à compter sur des génotypes exotiques pour améliorer les variétés, car ils ne vont probablement pas trouver des descendants d'une qualité acceptable à partir de ces croisements, à moins de procéder à de nombreuses générations de rétrocroisements et de sélection. En général, ils emportent plutôt des souches parentales relativement adaptées qui présentent des caractères de qualité acceptables, et ont tendance à reléguer les matériaux exotiques de qualité inférieure à l'amélioration des génotypes à long terme. Il est évident que leur préférence pour des croisements d'individus génétiquement proches diminue aussi les possibilités de grandes améliorations ou rendement en autres traits hérités de manière complexe.

### *iii) Caractéristiques limitant la sélection*

Nombre des caractéristiques du blé requises ou souhaitables pour résoudre des problèmes spécifiques de production ou pour satisfaire des besoins nutritionnels ou commerciaux spécifiques ne peuvent pas être obtenues par les technologies classiques de sélection. On ne dispose pas non plus, dans bien des cas, d'une résistance suffisante à des maladies et insectes ravageurs importants dans la banque existante de matériel génétique du blé. Quand la sélection a échoué, des méthodes de culture inacceptables pour l'environnement, indésirables ou controversées – comme l'emploi de pesticides, un sarclage plus intensif et le brûlage à l'air libre du chaume – ont souvent été introduites pour surmonter les problèmes et améliorer le rendement d'une variété autrement vulnérable. Sans exception, les problèmes d'environnement associés aux pratiques agricoles actuelles ne sont pas dus à des modifications génétiques, mais plutôt à des méthodes de culture introduites ou encouragées pour maximiser les performances des variétés.

Certains problèmes jusqu'ici insolubles associés aux pratiques agricoles actuelles pourraient être maintenant résolus en utilisant la technologie de l'ADN recombinant pour introduire de nouvelles informations génétiques utiles dans le blé à partir d'une large collection de sources. Par exemple, on n'a pas réussi à lutter par une sélection classique contre le virus de la jaunisse nanisante de l'orge, qui réside dans beaucoup de plantes adventices et dans d'autres hôtes des cultures en assolement et qui est véhiculé vers le blé par les pucerons. Cependant, on pourrait un jour le vaincre en mettant au point des blés transgéniques qui exprimeront le gène de la protéine de la paroi ou un autre gène du virus. Les nouveaux instruments de «sélection» élargiront la base génétique mais ne réduiront probablement pas le nombre d'années-sites nécessaires pour évaluer les performances de ces nouvelles lignées ou de ces nouvelles variétés. Le blé transgénique, comme les blés mis au point par sélection classique, doit également donner un résultat au moins aussi bon que les équivalents les plus proches lorsque le facteur de stress qu'il était conçu pour surmonter est absent. Ces renseignements ne peuvent être obtenus que par des

évaluations de performances comparatives dans des tests coopératifs régionaux, nationaux ou internationaux comme ceux réalisés pour les blés mis au point par les technologies classiques.

### ***b) Principaux objectifs de la sélection***

Les nouvelles variétés sont habituellement sélectionnées pour leur capacité de surmonter des contraintes spécifiques de la production ou de répondre à certains besoins du marché, tout en ayant des rendements au moins aussi bons que leurs équivalents les plus proches sur un large éventail de critères de production. Dans quelques cas, les variétés sont mises au point pour n'être utilisées que dans une région déterminée, pour surmonter une contrainte de production propre à cette région, par exemple, pour lutter contre la moisissure virale du blé dans les régions d'Amérique du Nord où le blé d'hiver doit survivre sous la neige pendant une période de végétation qui peut atteindre quatre mois.

Les obtenteurs de blé reconnaissent que les exigences de qualité peuvent affecter négativement l'amélioration des rendements. Des liaisons génétiques défavorables entre les gènes codant pour des caractères spécifiques de qualité et des gènes qui affectent les rendements existent sans aucun doute, mais relativement peu ont été identifiées avec certitude. Plusieurs études ont démontré une corrélation négative entre le rendement en grains et la teneur en protéines. La corrélation négative ne signifie pas nécessairement une liaison génétique. L'augmentation des rendements implique ordinairement une accumulation d'amidon et une dilution parallèle des protéines dans le grain de blé. Les milieux de production qui contribuent à des rendements élevés en grains (la région Pacifique nord-ouest des États-Unis et l'Europe occidentale) donnent aussi généralement des grains à faible teneur protéique. Pour les blés panifiables, dans lesquels la teneur élevée en protéines des grains est essentielle pour une production satisfaisante de pain levé, la corrélation négative entre le rendement et la teneur en protéines peut avoir de graves conséquences.

### ***c) Tests pour les objectifs de sélection importants***

Les caractéristiques d'utilisation finale, y compris les qualités de mouture et de cuisson, sont identifiées dans certains programmes par un test de micromouture et de cuisson dès les premiers stades de l'évaluation des performances et dans les tests standards de la qualité des grains avant de les soumettre aux évaluations régionales ou nationales des performances.

Les variétés de blé candidats cultivés dans le cadre d'essais de performances élaborés sont exposés à des méthodes agronomiques typiques, sinon les meilleures, pour la région considérée, et aux stress naturels ou artificiels nécessaires pour mettre en évidence ceux qui présentent des performances supérieures. Un exemple de stress « artificiel » est l'introduction d'un inoculum d'un pathogène local dans la parcelle expérimentale afin de créer une épidémie d'une gravité suffisante pour distinguer expérimentalement des degrés de résistance dans une population ségrégative. Les évaluations de performance recourant à l'introduction d'inoculum de pathogènes sont réalisées presque exclusivement dans la station expérimentale et non dans les champs des producteurs. Les évaluations de performance dans des conditions de stress naturel sont réalisées à la fois dans la station expérimentale et à l'extérieur. Les stress naturels comprennent l'exposition aux atteintes de l'hiver, un sol salin, de hautes températures du sol pendant l'installation de la parcelle,

une température ambiante élevée pendant le remplissage en grain et des épidémies naturelles ou des invasions d'insectes. Les expériences sont conçues pour permettre l'évaluation des données par des méthodes statistiques standards.

#### **d) *Évaluation des performances d'ensemble du matériel de sélection***

La plupart des nouvelles variétés sont sélectionnées sur la base des données de 50 à 60 années-sites d'essais et certains après 75 ou même 100 années-sites d'essais. Malgré le grand nombre d'années et de générations de plants nécessaires, de nombreuses nouvelles variétés de blé sont mises sur le marché chaque année, à cause de l'importance du blé et du grand nombre de programmes de sélection publics et privés.

Les obtenteurs de blé ont une longue histoire d'étroite coopération nationale et internationale, y compris le partage et l'échange de matériel génétique. Par exemple, les gènes *RHt-1* et *RHt-2* de port semi-nain, hérités à l'origine de la lignée Norin du Japon, ont été transférés avec succès par hybridation standard aux États-Unis dans le Bevor pour produire la lignée Norin 10/Bevor 14. Cette lignée, à son tour, a été librement partagée avec des programmes de sélection dans le monde entier, y compris le programme de Norman Borlaug au Mexique. En une vingtaine d'années ces deux gènes de semi-nanisme étaient utilisés dans environ 50 pour cent des variétés de blé du monde. Un autre exemple est le gène *Pch* de résistance au piétin-verse *Pseudocercospora* qui a d'abord été transféré au blé hexaploïde en France par un croisement intergénérique du tétraploïde sauvage *Aegilops ventricosa* (Doussinault *et al.*, 1983). Le transfert a nécessité de nombreuses années de recherche et d'essais. Ce matériel génétique a été partagé avec les programmes de sélection du blé aux États-Unis et au Royaume-Uni, et le gène a été transféré par hybridation standard dans des variétés adaptés aux conditions locales toutes les fois où le piétin-verse posait un problème.

### **C. Multiplication des semences à usage commercial**

#### **a) *Étapes de la production***

La plupart des pays ayant des programmes d'amélioration du blé, sinon tous, suivent des directives minutieusement établies, relatives à la commercialisation, à la multiplication, à la distribution et au maintien des semences des nouvelles variétés de blé. En règle générale, la commercialisation d'une nouvelle variété est autorisée par une procédure officielle exécutée au sein d'un ministère de l'Agriculture, comme en Europe, ou d'une station d'expérimentation agricole d'un État, comme aux États-Unis. Les semences de la variété autorisée sont fournies par l'obteneur (les «semences de prébase»), afin d'être multipliées en deux étapes ou plus pour produire les semences destinées à l'alimentation humaine. Aux États-Unis, les semences de prébase sont utilisées pour produire les «semences de base», elles-mêmes utilisées pour produire les «semences inscrites», qui servent à la production des «semences certifiées» destinées au marché intérieur et à l'exportation.

La plupart des pays ayant des programmes d'amélioration du blé, sinon tous, possèdent une réglementation visant à garantir l'identité, la pureté et la faculté germinative des semences, notamment des semences de blé. Aux États-Unis, chacun des trois stades de la production de semences – semences de base, semences inscrites et semences

certifiées – est assuré par des producteurs de semences professionnels. Chaque champ de multiplication, de même que les semences récoltées, est soumis à une inspection, fondée sur des normes phytosanitaires officielles, visant à détecter la présence de certaines plantes adventices, de certaines maladies et de certains insectes. La production de semences de blé est supervisée par des organismes de certification des états aux États-Unis, et par des organismes fédéraux au Canada et dans la plupart des pays européens.

### b) *Pratiques d'isolement et surveillance du comportement*

Les échanges internationaux de semences de blé, en tant que matériel génétique pour les programmes d'amélioration, sont soumis à la réglementation phytosanitaire des pays importateurs. Certains pays ont rendu obligatoire la mise en quarantaine des semences provenant de certains autres pays, à cause des maladies présentes dans ces derniers. Certaines quarantaines ont également été étendues aux graines de blé importées pour un usage alimentaire. Les semences doivent, soit être certifiées indemnes de la maladie visée, en cas de tolérance zéro, soit satisfaire à un niveau de tolérance minimal fixé par le pays importateur.

La plupart des pays ayant des programmes d'amélioration du blé, sinon tous, contrôlent également le comportement des variétés dans les champs de production de semences, et, dans certains pays, poursuivent ces contrôles même après la commercialisation. Si, au cours de la multiplication ou une fois commercialisé, une variété autorisée manifeste une sensibilité inattendue à une maladie ou à un stress du milieu, ou si l'on découvre qu'elle présente d'autres tendances défavorables sur le plan agronomique, que les évaluations de ses performances n'avaient pas révélées jusqu'alors, l'autorisation peut lui être retirée.

Tableau 2.1. **Noms des blés sauvages, des blés cultivés primitifs et des blés cultivés modernes**

Blés sauvages	Blés cultivés primitifs	Blés cultivés modernes
<i>T. monococcum</i> var. <i>boeoticum</i> diploïde (AA)	<i>T. monococcum</i> var. <i>monococcum</i> , engrain (vêtu) diploïde (AA)	<i>T. turgidum</i> var. <i>durum</i> , blé dur (nu) tétraploïde (AABB)
<i>T. tauschii</i> diploïde (DD)	<i>T. turgidum</i> var. <i>dicoccum</i> , amidonnier (vêtu)	<i>T. aestivum</i> var. <i>spelta</i> , épeautre (nu)
<i>T. turgidum</i> var. <i>dicoccoides</i> tétraploïde (AABB)	var. <i>durum</i> (nu) tétraploïde (AABB)	var. <i>compactum</i> , blé hérisson (nu)
<i>T. timopheevii</i> tétraploïde (AADD)	<i>T. aestivum</i> var. <i>spelta</i> (vêtu)	var. <i>aestivum</i> , blé tendre (nu) hexaploïde (AABBDD)
<i>T. aestivum</i> hexaploïde (AABBDD)	var. <i>compactum</i> (nu)	
	var. <i>aestivum</i> (nu) hexaploïde (AABBDD)	

Source : D'après Feldman (1976).

Dans les régions où le blé est cultivé à proximité d'espèces sauvages apparentées, des caractères peuvent être transférés par pollinisation croisée, soit de l'espèce apparentée au blé cultivé, soit du blé cultivé à l'espèce apparentée. Aux États-Unis, tous les champs de production de semences de blé cultivés dans des zones infestées par *A. cylindrica*, plante adventice diploïde apparentée au blé, font l'objet d'inspections destinées à détecter la présence d'hybrides, facilement reconnaissables. La loi américaine sur les semences n'autorise pas la certification des semences provenant de champs contenant ne serait-ce qu'un hybride de blé *A. cylindrica*.

Il est aussi possible que se produise un flux de gènes du blé cultivé à une espèce sauvage apparentée, telle que *A. cylindrica*. Ainsi, le gène *Pch* de la résistance au piétin-verse, transféré au blé hexaploïde par croisement intergénérique avec *Aegilops ventricosa*, pourrait être transféré à *A. cylindrica* par allofécondation. Ce caractère n'a jamais été observé chez *A. cylindrica*, plante-hôte du champignon responsable du piétin-verse sur le blé cultivé. Bien qu'aucun contrôle réglementaire ne soit effectué au sein de populations de *A. cylindrica* pour surveiller le transfert de gènes, des caractères du blé aisément reconnaissables, comme un coléoptile rouge et des feuilles pubescentes, n'ont jamais été observés dans des populations de *A. cylindrica*. Par ailleurs, si le gène *Pch* devait être transféré à *A. cylindrica* par allofécondation, rien ne prouve que ce transfert lui donnerait une plus grande importance comme plante adventice, et cette plante adventice pourrait devenir un hôte moins favorable au champignon responsable du piétin-verse.

## Références

- ALLAN, R.E. (1987), «Wheat», *Principles of Cultivar Development*, dans W.R. Fehr, dir. pub., vol. 2, Crop Species, pp. 699-748, Macmillan, New York.
- COOK, R.J. et R.J. VESETH (1991), *Wheat Health Management*, APS Press, St. Paul, Minnesota.
- DOUSSINAULT, B., A. DELIBES, R. SANCHEZ-MONGE, et F. GARCIA OLMEDO (1983), «Transfer of a dominant gene for resistance to eyespot disease from a wild grass to hexaploid wheat», *Nature*, vol. 303, pp. 698-700.
- FEHR, W.R., «Release and distribution of cultivars», in *Principles of Cultivar Development*, pp. 450-465, Macmillan, New York.
- FELDMAN, M. (1976), «Wheats», *Evolution of Crop Plants*, dans N.W. Simmonds, dir. pub., pp. 120-128, Longman, Londres et New York.
- HARLAN, J.F. et D. ZOHARY (1966), «Distribution of wild wheats and barley», *Science*, vol. 153, pp. 1074-1080.
- HEYNE, E.G., dir. pub. (1987), *Wheat and Wheat Improvement*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- LUPTON, F.G.H. (1987), *Wheat Breeding : Its Scientific Basis*, Chapman and Hall, Londres et New York.
- MCLAUGHLIN F.W. et Lisa L. JONES (1989), *Report of Acres Applied for Certification in 1989 by Seed Certification Agencies*, Association of Official Seed Certifying Agencies, 3709 Hillsborough Street, Raleigh, NC.

### 3. Le riz

par

Chukichi Kaneda

#### A. Caractéristiques de la plante

##### a) Origines géographiques ; centres de la diversification

On cultive deux espèces de riz : le riz asiatique, *Oryza sativa*, et le riz africain, *O. glaberrima*.

On considère que les formes ancestrales du riz asiatique cultivé sont apparues à l'âge néothermal (10 à 15 000 avant J.-C.) aux frontières méridionales de l'Himalaya et dans la Chine du Sud et du Sud-Ouest ; les formes annuelles se sont progressivement développées en Inde du Nord-est et de l'Est, dans la partie nord de l'Asie et du Sud-Est et en Chine du Sud. Elles se sont dispersées et diversifiées pour former trois essences écogéographiques : *indica*, *japonica* et *javanica*.

Le riz cultivé africain provient du delta du fleuve Niger. Le centre essentiel de diversification est le bassin marécageux du fleuve Niger supérieur ; deux centres secondaires se situent au nord-ouest, près de la côte de Guinée (Chang, 1985).

##### b) Répartition géographique des cultures ; principales zones de production

La culture du riz couvre une latitude de 53° N à 40° S, dans diverses conditions physiographiques, hydrologiques et édaphiques. Plus de 90 pour cent de cette production provient d'Asie, avec 36.3 pour cent de Chine, 21.1 pour cent d'Inde, 8.4 pour cent d'Indonésie, 5.7 pour cent de Bangladesh, 3.9 pour cent de la Thaïlande et 3.7 pour cent du Viêt-nam, environ 5 pour cent du continent américain, et 2 pour cent d'Afrique (IRRI, 1991b).

##### c) Position taxonomique

En plus des espèces cultivées, le genre *Oryza* comprend 21 espèces sauvages. La plupart sont diploïdes ( $2n = 24$ ) et sept sont tétraploïdes. L'*O. perennis* (actuellement *O. rufipogon*) est considéré être le progéniteur du cultigène asiatique et l'*O. breviligulata* (*O. barthii*) celui du cultigène africain. L'*O. nivara*, qui a pris son nom en Inde, est aussi considéré comme une forme annuelle de l'*O. rufipogon*.

Les 23 espèces comprenant le genre *Oryza* sont classées en cinq sections, comme l'indique le tableau 3.1.

Tableau 3.1. Taxa dans le genre *Oryza* :  
les complexes d'espèces et groupes de génomes

Complexe d'espèce	Taxa	Groupe de génomes	Répartition
Complexe <i>O. ridleyi</i>	<i>O. schlechteri</i>	Inconnu	Papouasie Nouvelle-Guinée
	<i>O. brachyantha</i>	FF	Afrique
Complexe <i>O. meyeriana</i>	<i>O. longiglumis</i>	Tétraploïde	Irian Jaya, Indonésie
	<i>O. ridleyi</i>	Tétraploïde	Asie du SE
Complexe <i>O. officinalis</i>	<i>O. granulata</i>	Diploïde	Asie du S et SE
	<i>O. meyeriana</i>	Diploïde	Asie du SE
Complexe <i>O. sativa</i>	<i>O. officinalis</i>	CC	Asie tropicale et subtropicale
	<i>O. minuta</i>	BBCC	Philippines
	<i>O. eichingeri</i>	CC	Sri Lanka, Afrique
	<i>O. rhizomatis</i>	CC	Sri Lanka
	<i>O. punctata</i>	BBCC, BB	Afrique
	<i>O. latifolia</i>	CCDD	Amérique latine
	<i>O. alta</i>	CCDD	Amérique latine
	<i>O. grandiglumis</i>	CCDD	Amérique du Sud
	<i>O. australiensis</i>	EE	Australie
Complexe <i>O. sativa</i>	<i>O. glaberrima</i>	A <sup>s</sup> A <sup>s</sup>	Afrique (surtout de l'Ouest)
	<i>O. barthii</i>	A <sup>s</sup> A <sup>s</sup>	Afrique
	<i>O. longistaminata</i>	A <sup>1</sup> A <sup>1</sup>	Afrique
	<i>O. sativa</i>	AA	Monde entier
	<i>O. nivara</i>	AA	Asie tropicale et subtropicale
	<i>O. rufipogon</i>	AA	Asie tropicale et subtropicale
	<i>O. meridionalis</i>	A <sup>m</sup> A <sup>m</sup>	Australie tropicale
	<i>O. glumaepatula</i>	A <sup>g1</sup> A <sup>g1</sup>	Amérique du Sud

Source : Chang et Vaughan (1991).

#### d) Caractéristiques génétiques et cytogénétiques

Les espèces du complexe *O. sativa* peuvent être croisées, même s'il existe plusieurs niveaux d'inaptitude au croisement. La première grande réussite d'hybridation entre espèces a eu lieu en 1974 avec la mise au point de IR28 par l'incorporation d'un gène de résistance au virus de rabougrissement («grassy stunt virus») de l'*O. nivara*. Il est également bien connu que le cytoplasme de l'*O. rufipogon* apporte la solution à la stérilité mâle dans la production des variétés hybrides de riz.

Afin de surmonter les problèmes de perte de la résistance aux maladies importantes et aux insectes nuisibles pour le riz tropical, l'IRRI travaille à la mise au point de l'hybridation d'intersection. L'*O. australiensis*, *O. latifolia*, *O. minuta*, *O. brachyantha*, *O. eichingeri*, *O. alta*, et *O. rhizomatis* sont utilisés pour procurer une résistance contre la cicadelle brune du riz, la piriculariose, le flétrissement bactérien ou la pourriture à sclérotés de la gaine, ou pour élargir le capital génétique du riz (IRRI, 1991a, p. 317).

### ***e) Considérations phytosanitaires actuelles liées au transfert de matériel génétique***

Dans la plupart des pays, les restrictions phytosanitaires conçues pour prévenir l'introduction des maladies du riz sont extrêmement strictes. Au Japon, par exemple, les semences de riz à balles ne peuvent être importées qu'avec la permission spéciale du ministère de l'Agriculture, des Forêts et de la Pêche pour des expériences spécifiques dans une installation désignée, et à la condition qu'elles soient stérilisées à la vapeur ou incinérées après l'expérience. Lorsque le matériel génétique est introduit, les plantes de riz sont cultivées dans une serre spécialement conçue qui empêche l'évacuation libre de l'air. Les semences sont récoltées seulement après examen par le responsable de la quarantaine. Le système de quarantaine des plantes aux États-Unis est très similaire (Cooper, 1988, pp. 57-60).

### ***f) Utilisations finales actuelles***

Le riz, qu'il soit poli ou brun, est utilisé à des fins alimentaires sous diverses formes. En quantités limitées, le riz est également utilisé pour fabriquer de l'amidon. Comme les granules d'amidon du riz sont très petits, on les a utilisés comme matériau important dans la composition des membranes photosensibles des films, pour l'«oshiroi» (un cosmétique), etc. Le germe est employé dans les produits alimentaires nutritifs, les vitamines, les gâteaux et les aliments pour animaux. Le son est une source importante d'huile pour les produits alimentaires et l'industrie manufacturière; les balles sont utilisées comme engrais et aliments pour animaux et la paille sert pour fabriquer divers matériaux pour l'emballage, les nattes, les aliments, l'horticulture, etc. Les plantes de riz sont maintenant aussi considérées comme un bon matériau pour la production de céramiques du fait de leur haute teneur en silicates.

## **Mécanismes de reproduction**

### ***a) Mode de reproduction; aptitude au croisement avec des espèces apparentées***

Le riz cultivé est fondamentalement propagé par des semences produites par autofécondation, de taux très variable parmi les variétés et surtout parmi les sous-espèces. En général, le riz *indica* présente un taux d'autofécondation inférieur à celui du *japonica*. Les variétés japonaises ont été rendues plus homozygotes en diminuant l'allofécondation, au moyen de changements morphologiques, tels que la longueur et la position du stigmate, la taille et l'extension des anthères, ou le moment de la libération du pollen.

Un taux très élevé d'allofécondation est habituellement observé dans les riz sauvages, et ce mécanisme (contrairement à celui du riz japonais cultivé) est incorporé dans le riz cultivé pour produire, dans des conditions de contrôle des semences  $F_1$  de manière plus efficace.

### ***b) Caractère vivace ou annuel***

Le riz cultivé est une plante annuelle. Ce caractère vient de l'*O. nivara*, la forme annuelle de l'*O. rufipogon* qui a une forme annuelle et une forme vivace. Toutefois, les spécialistes propagent souvent des matériaux de riz expérimental de manière végétative, ou gardent des plantes de rejet (drageons issus de nœuds basaux après la récolte) afin de continuer leurs essais. Les plantes de rejet peuvent reprendre leur phase végétative après

traitement dans des conditions de journées longues. Au Japon, les plantes de rejet de certaines variétés peuvent survivre en hiver dans les régions les plus chaudes (par exemple au sud de Kyushu).

### **c) Mécanismes de dispersion et de survie des semences de riz**

Les semences des espèces sauvages apparentées au riz cultivé se brisent facilement. Nombre de variétés traditionnelles de riz *indica* expriment fortement ce caractère, mais ce n'est pas le cas pour la plupart des variétés de *javanica* et de *japonica*. Une même tendance s'observe pour ce qui est de la durée de la dormance des semences. Par conséquent, la dégradation de la qualité des semences se produit beaucoup plus vite pour le riz *indica*. C'est la raison pour laquelle le riz rouge pose un problème de germination.

## **Toxicologie**

Le riz n'a pas d'effets toxiques au sens ordinaire du terme. Toutefois, vraisemblablement à cause des changements des habitudes alimentaires au Japon, où on observe une diminution d'aliments à forte teneur en hydrates de carbone et une augmentation d'aliments à forte teneur en lipides et protéides, une réaction allergique au riz (dermite atopique) a été identifiée et est en augmentation, particulièrement parmi les jeunes enfants. Le principal facteur allergène est une globuline d'un poids moléculaire de 16 kD. Plusieurs mutants provenant de riz irradié ne contiennent pas cette globuline de 16 kD, et la culture d'un riz non allergène à des fins commerciales a commencé.

## **Exigences écologiques des cycles de vie**

### **a) Restrictions climatiques à l'extension de la culture**

La période de maturation d'une variété de riz est définie par la longueur de sa phase de croissance végétative de base, et par sa sensibilité à la longueur du jour et à la température. Dans les conditions climatiques japonaises, la période de maturation est un facteur critique, d'où le nombre de variétés dans différentes régions. La température est importante aussi, et le froid provoque diverses sortes de dégâts dans le nord du Japon et en altitude, et des rapports grain/paille réduits dans le sud du Japon.

### **b) Restrictions biologiques à une plus grande extension géographique**

À l'heure actuelle, les facteurs biologiques les plus importants au Japon sont les maladies comme la piriculariose et le virus de la mosaïque striée, et les insectes nuisibles comme les hémiptères et les cicadelles. L'introduction de gènes de résistance à ces problèmes biotiques est essentielle pour obtenir une plus grande diffusion d'une variété, et on y arrive en général en utilisant du riz *indica* comme donneur. Un problème qui se pose pour ces variétés résistantes est l'obtention d'une qualité gustative comparable à celle des variétés japonaises traditionnelles.

## **B. Pratiques actuelles de sélection et recherches sur la création variétale**

### *a) Principales méthodes et techniques de sélection*

#### *i) Conservation des ressources génétiques*

Au Japon, les génotypes de riz sont conservés dans le réseau des banques de gènes de la banque centrale de l'Institut national des ressources agrobiologiques, et dans des banques secondaires situées dans des stations agricoles expérimentales nationales de différentes régions du Japon. Les banques secondaires aident à la multiplication des génotypes nouvellement introduits et/ou des génotypes qui ont besoin d'une reproduction de semences. Dans la banque centrale, les collections de base sont maintenues à  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , et les collections actives à  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  avec 30 pour cent d'humidité relative.

#### *ii) La sélection*

Les deux grands domaines de recherche fondamentale sur la sélection sont celui des techniques classiques et celui des techniques biotechnologiques. Dans le premier, on utilise essentiellement la sélection par rétrocroisement, pour introduire et/ou accumuler les gènes de résistance/tolérance aux stress biotiques ou abiotiques, et la sélection par mutation, pour obtenir de nouvelles caractéristiques. Dans le second, qui concerne les stations expérimentales préfectorales et le secteur privé, on pratique la sélection haploïde, par la culture des anthères, et la sélection des mutations somatiques par la culture de protoplastes. Tant dans les institutions nationales que dans le secteur privé, on a adopté des techniques de recombinaison de l'ADN. Il est prévu de tester en champ isolé une forme de riz possédant de l'ADN codant pour les protéines du tégument provenant du virus de la mosaïque striée du riz.

#### *iii) La création variétale*

Pour le développement des variétés, le croisement classique couplé à la sélection massale (ordinairement jusqu'à  $F_3/F_4$ ) domine. En général, comme les parents dans les croisements *japonica/japonica* sont assez étroitement liés, il faut de huit à dix ans avant qu'une variété commerciale d'une forte homogénéité génétique soit mise en vente.

La sélection pour le développement des variétés au Japon peut se définir comme les activités qui mènent à l'envoi de sélections annuelles aux stations préfectorales d'expérimentation pour le testage de l'adaptabilité aux conditions locales et d'autres caractéristiques essentielles, y compris la conformation et le rendement. Une liste d'environ dix nouvelles variétés par an est recommandée dans l'ensemble du pays.

Les produits provenant de la recherche fondamentale sur la sélection ne sont pas distribués de cette façon. Cependant, lorsqu'ils deviennent très prometteurs et doivent être testés pour une utilisation pratique, on les envoie au laboratoire de développement des variétés. Au Japon, la sélection du riz hybride est à présent considérée comme une recherche fondamentale.

#### *iv) Techniques particulières*

Du fait des caractéristiques de cette plante, l'une des limites à la variété des méthodes de sélection serait le nombre limité de cycles végétatifs qui peuvent être obtenus en une année. Comme la croissance végétative de base empêche l'amorce de la panicule au stade de la très jeune pousse (Vergara *et al.*, 1969, p. 31), on ne peut cultiver

généralement que trois générations, même en utilisant le système de contrôle de la photopériode dans les serres, sauf dans le cas du riz thermosensible destiné aux zones très fraîches.

### **b) Principaux objectifs de la sélection**

Les objectifs essentiels sont, comme pour d'autres cultures, un rendement élevé et une bonne qualité, qui peut être définie différemment par les minotiers et les consommateurs finaux. Les rendements doivent aller de pair avec la stabilité de la production, grâce à la tolérance et la résistance aux facteurs biotiques et abiotiques du milieu. Le fait d'atteindre une bonne qualité signifie souvent un sacrifice du rendement dans les croisements ultérieurs, de sorte que les sélectionneurs réalisent difficilement les deux objectifs.

Les progrès les plus remarquables faits dans le domaine des rendements ont été obtenus par l'utilisation de gènes de semi-nanisme tant au Japon qu'aux États-Unis. Les gènes ont été identifiés dans certaines variétés traditionnelles ainsi que dans des mutants produits artificiellement. La nanification n'est pas le seul facteur permettant d'obtenir de hauts rendements. Un autre facteur végétatif important est la rigidité des extrémités aériennes, mais il semble affecter la sapidité de manière négative. En règle générale, les meilleures variétés de riz de table possèdent des pédoncules plus grands et plus fragiles.

En ce qui concerne la tolérance et la résistance aux différents facteurs du milieu, l'accent a été fortement mis au Japon sur les maladies comme la piriculariose, le flétrissement bactérien et les maladies à virus, sur les insectes nuisibles comme les hémiptères et les cicadelles, et sur la tolérance au froid. On trouve souvent les sources de gènes pour combattre ces problèmes dans des zones qui en sont exemptes. Par exemple, on a trouvé un gène de résistance pour le virus *Hoja blanca* en Amérique latine dans le riz *japonica*, et des niveaux de tolérance élevés aux basses températures dans le riz tropical *indica/javanica*.

Une nouvelle stratégie consiste à élargir la base génétique. Elle est essentielle dans la culture du riz dans les pays tropicaux, particulièrement en matière de résistance aux maladies et aux insectes nuisibles du fait de la perte continue de résistance. C'est la raison pour laquelle l'IRRI aborde le problème de l'hybridation à l'aide d'espèces de riz sauvage éloignées autres que le *sativa*. Cependant, dans des pays tempérés comme le Japon et les États-Unis, l'effondrement de la résistance peut être évité par une bonne gestion des facteurs technologiques, y compris les variétés, et les sources de gènes pour la résistance sont presque suffisantes dans l'*O. sativa*. Du point de vue de la biotechnologie, des tests permettant d'introduire des gènes uniques de tolérance aux insectes (endotoxine BT) et de modification des protéines de stockage ont été effectués dans les deux pays.

### **c) Tests pour les principaux objectifs de sélection**

#### **i) Rendement et stabilité**

Ces caractéristiques sont quantitatives et contrôlées par un grand nombre de gènes non identifiés ; par conséquent, elles ne peuvent être testées qu'après que les matériels de culture sont devenus, dans une certaine mesure, génétiquement homogènes. Sinon, l'hétérosis empêche une bonne évaluation, surtout pour les premières générations. C'est pour cette raison que la sélection des plantes commence habituellement de la troisième à la quatrième génération dans les croisements ordinaires, et de la sixième à la huitième

génération dans les croisements entre parents éloignées. Dans ce dernier cas, la population cultivée est aussi plusieurs fois plus grande, par exemple de 10 000 à 20 000 individus dans les croisements *japonica-indica*.

Il est nécessaire de répéter les essais dans différentes conditions pour simuler diverses pratiques de culture, telles que les niveaux d'application d'engrais, la densité de plantation, et la période de plantation. Lorsqu'une sélection est prometteuse, on passe au test d'adaptabilité locale et aux essais de reproduction dans les stations préfectorales d'expérimentation. Au moins trois ans de tests semblables (dimension de parcelle : 5 à 10 m<sup>2</sup>) plus au moins deux ans de plantations de démonstration (dimension de parcelle : 5 à 10 m<sup>2</sup>) sur plusieurs champs agricoles sont nécessaires avant que la sélection ne soit adoptée comme variété recommandée.

#### *ii) Essais de résistance aux maladies et aux insectes nuisibles*

Des tests en laboratoire ou en serre sont menés afin d'identifier les réactions à des pathotypes ou biotypes déterminés inoculés par différentes méthodes, et les tests au champ sont habituellement effectués pendant plusieurs années pour déterminer le niveau de résistance et l'étendue des fluctuations annuelles. Il est à noter que dans certains cas, le résultat des tests de laboratoire ne reflète pas les caractéristiques génétiques. Par exemple, dans le cas de la résistance à la cicadelle brune du riz, le niveau de résistance du riz a été très inférieur en conditions de laboratoire avec une faible intensité lumineuse qu'au champ. C'est peut-être dû aux conditions physiologiques moins bonnes en laboratoire, aboutissant à un affaiblissement relatif de la résistance ou de la tolérance (Kaneda *et al.*, 1982).

#### *iii) Tests relatifs aux qualités*

On peut tester le rendement à la moûture grâce à de petits moulins d'essai en laboratoire. La qualité alimentaire ou la sapidité pourrait être grossièrement estimée en testant plusieurs paramètres comme la teneur en amylose, la température de gélatinisation et certaines caractéristiques physico-chimiques. Mais au Japon, le jugement final se fait par des tests organoleptiques. Jusqu'ici, aucune autre procédure ne peut évaluer la sapidité mieux qu'une équipe de dégustateurs expérimentés.

#### *d) Évaluation des performances d'ensemble du matériel de sélection*

Mis à part les divers tests énoncés plus haut, le type de plante, la période de maturation et la performance des différentes caractéristiques des plantes sont observés dans des conditions différentes en champ pendant plusieurs années. L'observation et la prise de notes continuent depuis la germination en lits de semences jusqu'à la maturité, et l'évaluation d'ensemble de la sélection se fait une fois que toutes les vérifications de rendement et de qualité ont été effectuées. Le système de classement est différent selon les caractéristiques, mais le système de l'IRRI peut servir d'exemple (IRRI, 1980, p. 40).

## C. Multiplication des semences à usage commercial

### a) Étapes de la production

Les semences de riz d'une variété recommandée sont fournies aux agriculteurs après trois étapes de production. Au Japon, la semence d'obtenteur provenant d'environ 50 plantes individuelles de la souche choisie comme lignée généalogique («pedigree») est envoyée à la station agricole d'expérimentation de la préfecture où la variété est ou sera recommandée. Elle est cultivée dans la pépinière de contrôle des variétés afin d'observer si l'uniformité génétique existe parmi et au sein des lignées. Seules les souches ne présentant aucun individu aberrant ségréatif sont récoltées pour former la semence de base. Une partie de cette semence est utilisée pour produire la semence enregistrée, et le reste est stocké au frais pour être utilisé les années suivantes. L'étape

#### Encadré 3.1. Exploitation de l'hétérosis dans le riz autogame

Les variétés de riz hybrides sont maintenant cultivées dans plus de la moitié de la totalité des rizières en Chine et ont un rendement de 15 à 25 pour cent supérieur à celui des variétés ordinaires. L'écart de rendement entre les variétés hybrides et ordinaires provient de l'hétérosis, c'est-à-dire de la vigueur des hybrides créés à partir de deux parents éloignés. Dans les cultures de céréales, l'hétérosis ne devrait pas présenter une grande ampleur pour des caractères tels que la période de maturation et la croissance végétative, sauf le puits pour la photosynthèse, c'est-à-dire le volume total des épillets.

Le degré d'éloignement des deux parents est également important : les parents trop éloignés produisent des hybrides partiellement stériles, et les parents trop proches ne produisent aucun effet hétérosis intéressant. L'*indica* chinois et l'*indica* tropical se sont révélés capables de produire des plantes fertiles avec un hétérosis suffisant, mais le *japonica* et l'*indica* japonais ont produit des hybrides d'une telle stérilité qu'aucune utilisation ne peut être faite de l'hétérosis touchant la dimension du puits de photosynthèse. La stérilité des hybrides *japonica-indica* peut être diminuée en introduisant des gènes de compatibilité croisée trouvés dans des groupes spécifiques de riz, comme le *javanica* ou le *boro*.

Les variétés hybrides de riz ne sont utilisables dans la pratique que comme  $F_1$  du fait de la ségrégation dans la génération  $F_2$ . Par conséquent, les semences de variété hybride doivent être produites chaque année. Comme le riz cultivé a été amélioré pour faire en sorte qu'il s'autoféconde, l'efficacité de la production de semences hybrides a d'abord été très faible, par exemple de 100 kg par ha. La conversion de lignées parentales pour hybridation a été obtenue en introduisant des caractères de riz *indica* classique ou de riz sauvage (comme le stigmat qui sort des balles ou de plus gros sacs de pollen qui se défont après l'exsertion complète des filaments) et devrait améliorer l'efficacité de la production de semences. Cependant, cela entraînera aussi une détérioration rapide de la pureté variétale.

Le mécanisme qui provoque la stérilité mâle dans les lignées parentales femelles est un autre aboutissement important. La stérilité mâle devrait être stable et maintenue sans trop d'effort. Ce problème devrait être résolu par la découverte récente d'une stérilité mâle (récessive) génétique causée par des différences de durée du jour ou de température.

### Encadré 3.2. Problèmes posés par le riz rouge

Le riz à péricarpe rouge est particulièrement apprécié dans certaines régions, par exemple dans l'État du Kerala en Inde et au Sri Lanka. Au Japon, lors du tout premier âge de la culture du riz, les variétés de riz rouge étaient couramment cultivées, et jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, elles étaient cultivées par les fermiers pauvres pour diverses raisons. La transplantation du riz avec espacement régulier, liée à un dirigisme actif des autorités, a pratiquement éliminé le riz rouge des rizières du Japon. A présent, on trouve du riz rouge de manière sporadique dans certaines zones de culture en altitude où l'ensemencement direct est pratiqué. L'élimination du riz rouge a été nécessaire au Japon parce que de nombreuses variétés de riz rouge étaient du type *indica* et produisaient, par pollinisation naturelle avec les variétés ordinaires, des plantes hybrides stériles, entraînant ainsi de plus faibles rendements et une moins bonne qualité de grain.

Aux États-Unis, le riz rouge provoque d'importantes pertes commerciales. Il est très difficile à éliminer par des mesures de contrôle chimique et cultural, mais la Californie a réussi à obtenir des champs sans riz rouge en pratiquant l'ensemencement irrigué, qui supprime efficacement l'émergence de ce riz. Un trieur séparateur équipé d'un tamis avec des trous de 2.88 mm de diamètre s'est révélé efficace pour enlever de 98 à 99 pour cent des contaminants de riz rouge dans une variété à longs grains (Delouche, 1988).

En Inde, il y a eu un essai de sélection de riz avec une couleur de feuille pourpre pour faire la différence avec le riz rouge, de sorte que les fermiers puissent éliminer le riz rouge à feuille verte de leurs champs. La première variété commerciale, le Shyamla, a été mise sur le marché dans l'État de Madya Pradesh. Son rendement est inférieur de 10 à 15 pour cent, en raison de la capacité photosynthétique diminuée des feuilles.

finale, la production de la semence certifiée, est généralement confiée à quelques agriculteurs de premier plan recommandés par la station expérimentale. Les champs de production de semences sont supervisés à plusieurs stades critiques (depuis l'épiaison jusqu'à la maturité) pour s'assurer de la pureté génétique des récoltes. Les plantes non conformes au type sont éliminées, et la pureté des semences récoltées est examinée.

#### **b) Pratiques d'isolement**

On pratique habituellement l'isolement tant spatial que temporel du champ pour avoir une production de semences pures. Les champs adjacents sont plantés de variétés à des époques de floraison différentes, et les semences de plusieurs lignées en bordure sont exclues de la parcelle où les semences sont récoltées. La distance nécessaire entre deux champs pour empêcher le croisement naturel est d'au moins 2.5 m. L'isolement est particulièrement important pour le riz amidonneux qui présente une xénie dans l'endosperme (apparition d'un caractère appartenant au parent mâle) lorsqu'il est croisé par du riz non amidonneux.

c) *Surveillance du comportement des variétés; durée de vie et diffusion commerciale*

La détérioration des semences est beaucoup plus lente pour le riz *japonica* que pour le riz *indica*, du fait d'un moindre égrenage spontané, d'une dormance de semence inférieure, et d'autres facteurs liés à la gestion des champs. Au Japon, le taux de replantation des semences des cultivateurs a récemment augmenté (de près de 50 pour cent par rapport à moins de 20 pour cent au milieu des années 60) du fait de l'énorme réseau de fourniture de semis de la coopérative pour la transplantation mécanisée, qui recouvre près de 95 pour cent du total des rizières.

Ces dernières années au Japon, la durée de vie d'une variété après la mise sur le marché a été déterminée par les consommateurs, sur la base de sa sapidité. Une variété hautement résistante qui a maîtrisé avec succès de très sévères épidémies d'une maladie à virus, le virus de la mosaïque striée du riz, a été remplacée au début des années 80 par une variété plus ancienne sensible au virus mais d'une meilleure qualité gustative dès que les dégâts sont devenus économiquement supportables.

Le Koshihikari, mis en vente pour la première fois en 1956, est maintenant planté sur plus de 28 pour cent des rizières à cause de sa qualité alimentaire. C'est un cas exceptionnel, et chaque préfecture fait des efforts pour que sa propre variété de riz gagne la compétition de la production de riz.

## Références

- ALLARD, R.W. (1960) *Principles of Plant Breeding*, J.W. Wiley & Sons, New York, Londres.
- CHANG, T.T. (1985), «Crop history and genetic conservation : rice – a case study», *Iowa State Journal of Research*, vol. 59, pp. 425-455.
- CHANG, T.T. et D.A. VAUGHAN (1991), «Conservation and potentials of rice genetic resources», *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, vol. 14, *Rice*, dir. pub. Y.P.S. Bajaj, pp. 531-552.
- COOPER, F.E. (1988), «The plant quarantine system for rice in the United States», *Rice Seed Health*, IRRI, pp. 57-60.
- DELOUCHE, J.C. (1988), «Weeds as rice seed contaminants», *Rice Seed Health*, IRRI, pp. 179-187.
- International Rice Research Institute (1980), *Standard Evaluation System for Rice*.
- International Rice Research Institute (1991a), *Program Report for 1990*.
- International Rice Research Institute (1991b), *World Rice Statistics 1990*.
- KANEDA, C., R. IKEDA et Y.D. JIN (1982), «Suppression of population build-up of brown planthopper by resistant cultivars, with special emphasis on breeding lines developed through repeated backcrossing», *Japanese Journal of Breeding*, vol. 32, pp. 129-138.
- LINCOLN, R.J., G.A. BOXSHALL et P.F. CLARK, (1982), *A Dictionary of Ecology, Evolution and Systematics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- OKA, H.I. et H. MORISHIMA (1967), «Variations in the breeding systems of a wild rice, *Oryza perennis*», *Evolution*, vol. 21, pp. 249-258.
- RIEGER, R., A. MICHAELIS et M.M. GREEN (1991), *Glossary of Genetics*, 5<sup>e</sup> éd., Springer Verl, Munich.
- VERGARA, B.S., T.T. CHANG et R. LILIS (1969), «The flowering response of the rice plant to photoperiod», *Technical Bulletin*, vol. 8, IRRI.

## 4. Les cucurbitacées

*par*

Henry M. Munger, Molly M. Kyle et Richard W. Robinson

La famille des cucurbitacées comprend un certain nombre d'espèces appartenant à trois genres différents. Le genre *Cucumis* couvre à la fois les concombres et plusieurs variétés de melon ; la pastèque appartient au genre *Citrullus*, et l'on trouve dans quatre espèces cultivées de *Cucurbita* toute une gamme de courges et de citrouilles. Les pratiques et les objectifs de sélection concernant cette famille possèdent de nombreux éléments en commun, mais il n'est pas possible de procéder à un examen global à cause des différences que présentent ces sept espèces. Le concombre servira donc d'espèce représentative parce que c'est sa génétique qui a été la plus étudiée et ses variétés qui ont été les plus améliorées. Les autres cucurbitacées seront abordées plus succinctement en soulignant leurs différences avec le concombre, les objectifs spécifiques de la sélection de chacune et les sources de matériel génétique.

### I. CONCOMBRE

Le concombre (*Cucumis sativus* L.) se distingue à divers titres parmi les cucurbitacées : c'est celle qui est le plus largement produite dans le monde entier, la moins nourissante, la plus étudiée sur le plan génétique, et ce sont ses variétés qui ont connu le plus d'améliorations ces dernières années, notamment en termes de résistance aux maladies. Son cycle de végétation est le plus court et c'est la variété qui nécessite le moins de surface par plant.

#### A. Caractéristiques de la plante

##### a) *Origine géographique ; principales régions productrices*

Cette espèce est originaire d'Asie, probablement d'Inde, et elle est maintenant cultivée dans le monde entier.

## **b) Caractéristiques génétiques et cytogénétiques**

Le concombre possède sept paires de chromosomes. Des plants tétraploïdes ont été obtenus mais ne se sont pas avérés présenter d'avantage particulier. Il n'existe pas d'espèces apparentées qui puissent se croiser avec le concombre. *C. hardwickii*, adventice, découverte en Inde, a d'abord été décrite comme une espèce distincte, mais ses croisements avec le concombre cultivé sont totalement fertiles et elle est considérée maintenant comme un groupe appartenant à cette espèce. La grande variabilité génétique que présente *C. sativus* n'a pas été pleinement utilisée pour obtenir des variétés de qualité supérieure destinées, notamment, à des pays tropicaux.

## **c) Considérations phytosanitaires liées au transfert de matériel génétique**

Les cucurbitacées ont si peu de maladies transmissibles par les graines qu'il n'y a pratiquement pas d'observations phytosanitaires à formuler quant au transfert de matériel génétique. La source principale en ce qui concerne les courges et citrouilles et les melons est la transmission, par les graines, du virus de la mosaïque jaune de la courgette ; la présence de coléoptères du concombre augmente ce risque, car ils sont porteurs de ce virus. Les États-Unis n'imposent aucune restriction à l'importation de semences de cucurbitacées, bien que quelques pays le fassent.

## **d) Utilisations finales actuelles**

Les fruits frais sont consommés avant maturité quel que soit l'endroit où la plante est cultivée et sous les climats tempérés on les conserve très souvent en les faisant macérer dans du vinaigre.

## **Toxicologie**

Les cucurbitacines sont un groupe de composés amers que l'on trouve chez la plupart des cucurbitacées. Les formes sous lesquelles elles se présentent chez le concombre sont moins toxiques aux êtres humains et moins concentrées que celles que l'on trouve dans les autres espèces de *Cucurbita* et on les trouve rarement dans les fruits. Les auteurs ne connaissent pas de cas de consommation ayant provoqué une intoxication. Chez la plupart des variétés exploitées aux États-Unis, les jeunes plants sont amers, mais cette amertume est difficile à détecter chez des plants plus âgés. Un gène unique récessif *bi* supprime l'amertume chez la plante, ce qui non seulement évite que les fruits soient amers mais rend aussi les plants moins sensibles à l'attaque de la chrysomèle du concombre. Toutefois, les plants dénués d'amertume sont en même temps davantage sensibles aux araignées rouges. Un certain nombre de variétés non amères ont été mises au point aux États-Unis mais ne sont pas très répandues. Les variétés sans amertume ont pris davantage d'importance dans la production de concombres sous serre en Europe.

Un gène codant pour des fruits amers est présent chez certains concombres sauvages ou primitifs en Inde, et ceux-ci peuvent présenter des risques d'intoxication s'ils sont consommés.

## Besoins écologiques

Le concombre est probablement la cucurbitacée la plus largement répandue puisqu'il pousse de l'extrême limite des zones tempérées jusqu'aux tropiques. Il est pratiquement insensible à la photopériode et moins éprouvé par des températures extrêmes que la plupart des autres espèces de cucurbitacées. Cependant, de basses températures du sol peuvent poser des problèmes pour les concombres de serre en hiver.

Sa sensibilité aux maladies est probablement le facteur qui limite le plus sa diffusion. La variété Poinsett, sélectionnée à la station expérimentale de l'Université Clemson à Charleston, Caroline du Sud, États-Unis, est largement exploitée dans les pays tropicaux en partie en raison de sa résistance à quatre maladies : l'antracnose (*Colletotrichum obiculae*); maladie des taches angulaires (*Pseudomonas syringae*); le mildiou (*Pseudoperonospora cubensis*); et l'oïdium (*Sphaerotheca fuliginea*). La sensibilité à la maladie des taches angulaires (*Corynespora cassiicola*) et à plusieurs maladies virales [CMV (virus de la mosaïque du concombre); PRV (virus de la tâche annulaire de la papaye) – W = WMV1; WMV (virus de la mosaïque du melon d'eau); et ZYMV (virus de la mosaïque jaune de la courgette)] a limité dans une certaine mesure son utilité mais cette situation changera dès que l'Université Cornell diffusera une variété Poinsett avec des résistances à onze maladies. Diverses entreprises semencières vont procéder à des améliorations similaires.

## B. Pratiques actuelles de sélection

### a) Principales techniques de sélection

#### i) La sélection

La plupart des concombres présentent des modes de floraison monoïque, c'est-à-dire que les fleurs mâles et femelles sont distinctes et portées par le même plant. Comme cette situation se traduit par environ 75 pour cent de pollinisation naturelle croisée entre fleurs non protégées, il est nécessaire de contrôler la pollinisation lorsqu'on procède à des sélections chez cette espèce. L'autogamie et l'exogamie sont faciles à réaliser mais nécessitent une main-d'œuvre considérable.

Les variétés de concombre se répartissent en deux grandes catégories : les hybrides  $F_1$  et les variétés à pollinisation libre. Les variétés modernes à pollinisation libre sont essentiellement des lignées consanguines puisque la consanguinité n'entraîne pratiquement pas de perte de vigueur et il n'est pas rare de voir la même lignée directement utilisée en tant que variété et également comme parent d'une variété hybride. Dans les années 40, les premiers hybrides produits aux États-Unis ont été obtenus en pollinisant manuellement chaque fleur femelle avec des fleurs mâles provenant d'un second parent. L'utilisation d'étéphon pour inhiber la production de fleurs mâles sur le parent femelle a été proposée comme méthode de remplacement mais n'a pas été largement utilisée parce qu'il est devenu facile de se procurer des variétés à floraison gynoïque (fleurs toutes femelles), ce qui a réduit considérablement le coût de production de semences  $F_1$ .

L'application d'acide gibbérélique ou de nitrate d'argent sur de jeunes plants qui sont génétiquement femelles induit des fleurs mâles et permet de maintenir des séries de semences qui sont de lignée pure pour le gène E. Lorsque le parent gynoïque (FF) est planté dans les interlignes d'un second parent qui est monoïque (ff), les semences

récoltées sont gynoïques (Ff) parce que ce caractère est complètement dominant dans la plupart des circonstances. Par conséquent, une variété qui produit des fleurs mâles doit être mélangée (à environ 10 pour cent) avec des individus gynoïques F<sub>1</sub> de façon à assurer la pollinisation. Les hybrides gynoïques sont un peu plus précoces et ont une production un peu plus concentrée que les variétés à pollinisation libre, mais ils produisent souvent des fruits non commercialisables dans des proportions supérieures bien que l'ensemble de la production vendable soit élevé. A la différence des cultures qui possèdent une vigueur hybride plus affirmée, il reste encore une place importante pour des variétés exogames lorsque la précocité et la concentration à maturité ne sont pas indispensables et qu'il faut tenir compte du coût des semences.

## ii) *Mise au point de variétés*

S'agissant du concombre, les qualifications de variétés telles que «à pollinisation libre», «lignée consanguine», «lignée génétiquement pure» et «non hybride» sont essentiellement interchangeables. Elles sont obtenues par sélection généalogique, rétrocroisement ou diverses combinaisons des deux. Dans la première méthode, les croisements s'effectuent entre parents dont chacun possède certains caractères utiles qui manquent à l'autre. Au cours des générations de ségrégation qui suivent, on retient les plants qui combinent les caractères utiles des parents. L'autopollinisation des plants recherchés est indispensable et comme certains caractères ne peuvent pas être sélectionnés au moment de la floraison, il faut polliniser manuellement beaucoup plus de plants qu'on n'en conserve en fin de compte. Cette procédure se poursuit jusqu'à ce que la nouvelle combinaison soit suffisamment stabilisée pour subir des essais, ordinairement quatre à six générations après le croisement.

Lorsque l'on tente d'améliorer une variété possédant beaucoup de bonnes propriétés en ajoutant un ou quelques caractères provenant d'un parent moins souhaitable, il est utile de pratiquer le rétrocroisement, surtout si le caractère à ajouter est simplement hérité. Après le croisement initial, les générations suivantes sont croisées avec la variété à améliorer (le parent récurrent), en choisissant à chaque génération le caractère à ajouter à partir du parent donneur. Après quatre à six rétrocroisements, la population possèdera 95 à 99 pour cent des gènes du parent le plus souhaitable tout en conservant le ou les gènes retenus à partir du parent donneur. L'autopollinisation est alors pratiquée sur deux à trois générations pour obtenir une lignée pure pour le caractère introduit. Cette méthode de sélection est celle qui donne les résultats les plus prévisibles, elle nécessite relativement peu de plants et de pollinisations, et peut être réalisée rapidement si l'on dispose d'emplacements permettant de faire pousser plus d'une génération par an. Une variété potentiellement nouvelle aura besoin de moins d'essais si elle est sélectionnée par rétrocroisement parce que la plupart des caractéristiques sont déjà connues.

## b) *Principaux objectifs de la sélection*

Précocité, rendement élevé, belle apparence, et résistance aux maladies sont des objectifs courants. Caractéristiques de transformation, croquant, la taille des locules et adaptabilité à la récolte mécaniques sont des objectifs supplémentaires pour les cornichons. On ne cultive pas les concombres pour leur valeur nutritive. Les différences de qualité en matière de goût et de texture sont mal définies et presque impossibles à évaluer lorsqu'on choisit du matériel. La meilleure façon d'améliorer une variété dont on sait que la qualité ou l'adaptation sont acceptables est de pratiquer un programme de rétrocroise-

ment répétitif tout en apportant des améliorations qui se prêtent plus facilement à la sélection.

Il est possible d'améliorer la précocité en sélectionnant, soit des plants qui produisent des fleurs femelles précoces, soit des hybrides gynoïques. Le rendement est difficile à améliorer si certains facteurs, tels que des maladies, limitent l'expression du potentiel de rendement d'une plante. Dans le cas de la présente culture, les améliorations de rendement les plus importantes dans de nombreuses régions ont été obtenues grâce à la résistance aux maladies.

Par la méthode de rétrocroisement, on peut facilement et rapidement transférer des gènes comme ceux qui induisent la floraison gynoïque (un gène dominant), les feuilles dénuées d'amertume (un gène récessif), la résistance à la cladosporiose ou nuile grise provoquée par *Cladosporium cucumerinum* (un gène dominant), la résistance à l'oïdium (deux ou trois gènes récessifs), la résistance à *Cladosporium* et à *Ulocladium* (un gène dominant pour les deux), la résistance au virus de la mosaïque jaune de la courgette et à celui de la mosaïque du melon d'eau (deux gènes dominants liés), et la résistance au virus de la tâche annulaire de la papaye (un gène dominant). Ce qui est un peu plus difficile à transférer, c'est la résistance au virus de la mosaïque du concombre (il faut deux ou trois gènes partiellement dominants pour conférer une grande résistance), au mildiou (difficile à évaluer), à l'anthracnose (difficile à évaluer et compliquée du fait qu'il existe plus d'une race) et à la maladies des taches angulaires. Le concombre présente un nombre inhabituel de résistances associées. Les plants retenus pour leur résistance à l'oïdium sont d'ordinaire assez résistants au mildiou et vice versa. La résistance à *Corynespora* et à *Ulocladium* semble être contrôlée par le même gène qui, dans la plupart des variétés des États-Unis, a été lié à la sensibilité à l'oïdium. On pense que le gène induisant la résistance à la cladosporiose confère la résistance à la fusariose pour la même raison.

A l'exception de la résistance à la cladosporiose, découverte chez une ancienne variété américaine, la plupart des propriétés de résistance résultent de l'introduction d'individus en provenance d'Inde, de Chine et du Japon. Souvent, ces individus ne présentent pas de résistance uniforme ou bien leur résistance est combinée avec des caractéristiques indésirables. Lorsque l'on recherche les meilleures sources de résistance, il faut évaluer les variétés commerciales et le matériel génétique de qualité supérieure que l'on peut se procurer auprès des compagnies semencières et des sélectionneurs publics de végétaux qui sélectionnent activement les concombres. Ces sélectionneurs peuvent également donner des renseignements sur les meilleures méthodes actuelles servant à évaluer la résistance.

On continue d'avoir besoin de meilleures sources de résistance à certaines maladies, notamment pour accroître la résistance au mildiou et à la pourriture noire du concombre (*Didymella bryoniae*). Dans certaines régions, on a également besoin de plants résistants aux nématodes.

### c) *Méthodes d'essai*

Il n'est pas possible, dans un espace limité, de décrire les méthodes d'essai mises en œuvre pour remplir les divers objectifs de sélection parmi les différentes espèces de cucurbitacées. La plupart de ces méthodes seraient utilisées dans les serres et dans les champs et dans un nombre relativement réduit de laboratoires. Les méthodes d'essai visant à des objectifs précis sont décrites dans quelques ouvrages généraux mais beau-

coup figurent dans divers journaux scientifiques ou dans des publications moins officielles. Dans cette dernière catégorie, les *Cucurbit Genetics Cooperative Reports*, qui paraissent chaque année depuis 1976, sont particulièrement utiles. En plus de communications de recherche, chaque rapport donne les coordonnées des membres de cette coopérative en même temps que leurs domaines de recherche. C'est en prenant contact avec les chercheurs appropriés que l'on peut obtenir les meilleures informations sur les méthodes d'essai actuelles.

Après que les descendants sont devenus relativement uniformes pour la combinaison des caractères recherchée, il est essentiel de les évaluer en les récoltant comme ils le seraient pour la commercialisation. Avec les concombres, le nombre de fruits vendables est un meilleur critère de rendement que le poids car les produits de petite taille ont souvent plus de valeur que les plus grands. La catégorie du fruit peut être mieux évaluée lors de récoltes répétées qu'en observant des plants qui ne sont pas récoltés. Une récolte systématique sur quatre à six plants donnera de bonnes informations, surtout lorsque les résultats sont combinés à des résultats similaires obtenus pendant plusieurs années ou sur d'autres emplacements.

Pour d'autres espèces, les fruits à maturité sont récoltés, comptés, pesés et enregistrés par catégorie commerciale ou selon le rendement en fruits vendables. Des parcelles de quatre à dix plants chacune et reproduites sur au moins deux emplacements ou étudiées pendant un minimum de deux ans donnent des informations importantes lorsque l'on combine les résultats. Les meilleurs descendants peuvent alors subir des essais de réplication. L'évaluation de la qualité peut se faire en procédant à des essais et/ou en identifiant les solides solubles avec un réfractomètre à main. L'aspect, ainsi que le rendement et la qualité, seront également pris en compte lors des décisions relatives à l'homologation et au choix d'un descendant qui subira des essais de rendement.

## II. MELON

### A. Caractéristiques de la plante cultivée

#### a) *Origine géographique ; centre de la diversification*

Le melon, *Cucumis melo* L., est originaire d'Afrique et c'est une espèce extrêmement diversifiée. Cette diversité a conduit à donner des noms à de nombreuses variétés botaniques, appelée «groupes» aujourd'hui. Certains ne diffèrent de l'un à l'autre que par des différences insignifiantes et quelques-uns ont reçu des noms différents suivant les pays.

#### b) *Taxonomie ; caractéristiques génétiques et cytogénétiques*

On tentera, dans les alinéas suivants, de simplifier les groupes appartenant à *C. melo* tout en les présentant de façon plus exhaustive que dans la plupart des descriptions précédentes.

1. *C. melo cantaloupensis* Naud. Cantaloup ou melon brodé. Fruits de taille moyenne à surface réticulée, verruqueuse ou écailleuse, chair ordinairement orange mais parfois verte, saveur aromatique ou musquée. Fruit déhiscent à maturité. Habituellement andromonoïque, c'est-à-dire que chaque plant porte à la fois des fleurs mâles et des fleurs hermaphrodites, ces dernières possédant des organes mâles aussi bien que des organes femelles. Ce groupe se révèle de temps à autre résistant à la fusariose mais il est en général sensible aux maladies.
2. *C. melo inodorus* Naud. Melons d'hiver. Surface lisse ou ridée avec une chair ordinairement blanche ou verte et n'ayant pas d'odeur musquée. Ordinairement plus grand, arrivant à maturité plus tard et se gardant plus longtemps que le *cantaloupensis*, et non déhiscent à maturité. Habituellement andromonoïque. Extrêmement sensible aux maladies virales mais source de résistance à la fusariose.
3. *C. melo flexuosus* Naud. Dit «snake melon». Synonyme de «snake cucumber», une appellation commune qui crée la confusion et doit donc être évitée. Fruit long et mince utilisé immature en remplacement au concombre. Monoïque. Résistant probablement mieux à la chaleur et au froid que la plupart des autres groupes.
4. *C. melo conomon* Mak. Dit «pickling melon», melon doux. Petit fruit à la peau lisse, à la chair blanche, à maturité précoce et souvent pratiquement dénué de saveur sucrée ou d'odeur. Cependant, quelques melons de ce groupe ont une haute teneur en sucre quand ils sont mûrs et se mangent comme des pommes, écorce comprise. Les plants des deux variétés sont d'apparence similaire et ont en commun d'être résistants à la mosaïque du concombre. Andromonoïque.
5. *C. melo chito* et *C. melo dudaim* Naud. Le premier est surnommé entre autres : melon mangue, pêche de vigne ; le second : melon grenade, «melon de la poche de la Reine Anne». Les descriptions publiées ne permettent pas de distinguer clairement ces deux groupes. Plants allongées avec des petites feuilles, de petits fruits et une floraison monoïque. On a constaté chez ce groupe une résistance à la pourriture noire du concombre, à la mosaïque du melon, et éventuellement à d'autres maladies virales.
6. *C. melo momordica*. Dit «phut» ou «snap melon». Il pousse en Inde et dans d'autres pays asiatiques et il est différent de tout autre groupe. La chair est blanche ou orange pâle, peu sucrée et farineuse. La surface lisse du fruit se craquelle à mesure que la maturité approche et le fruit se désintègre à peine mûr. Les variétés PI 371795 et 414723 appartiennent à ce groupe et ont fourni un important matériel conférant de la résistance aux pucerons, à la mosaïque jaune de la courgette et à la mosaïque du melon d'eau, par exemple, mais elles sont aussi très sensibles à la mosaïque du concombre. Monoïque. De nombreux individus de ce groupe sont résistants à l'oïdium.
7. *C. melo agrestis* Naud. Types sauvages avec des plants élancés et des fruits petits et immangeables. Probablement identique à *C. melo callosus* et à *C. melo trigonus*. La résistance à la mosaïque du melon d'eau a été constatée dans ce groupe et il mérite qu'on l'étudie en tant que source éventuelle de matériel conférant d'autres résistances.

*C. melo* possède 12 paires de chromosomes, et on a tenté de le croiser avec d'autres espèces *Cucumis* possédant le même nombre. Ces croisements ont été difficiles à réaliser et on n'a pas vraiment réussi à transférer de caractère utile aux melons. Encore plus que

chez le concombre, cette espèce présente une grande variabilité qui n'a pas encore été utilisée pour l'amélioration des variétés.

## **Toxicologie**

On trouve des cucurbitacines dans les jeunes feuilles de nombreuses variétés de melon mais en si petite quantité dans le fruit qu'il n'est ni toxique ni amer. Les auteurs ne connaissent aucun exemple d'intoxication par un composant toxique des fruits du melon cultivé. Le melon sauvage *C. melo agrestis* (= *callosus*) a des fruits amers et toxiques.

## **Besoins écologiques**

Les melons ont des besoins en soleil et en chaleur beaucoup plus contraignants que les concombres mais ils ont moins besoin d'un apport permanent d'humidité. De basses températures, ne serait-ce que plusieurs degrés au-dessus du gel, ralentissent considérablement le développement et des températures basses dans le sol freinent l'absorption d'eau. Ces conditions peuvent provoquer des flétrissures et même la mort si un temps froid et nuageux est suivi rapidement par des conditions ensoleillées qui provoquent une forte transpiration.

Les melons sont cultivés dans de nombreuses régions arides où la salinité du sol peut être un problème, et un certain nombre d'études ont été consacrées à la tolérance de la salinité. On a découvert entre variétés des différences qui donnent quelques indications sur les choix à faire dans des conditions salines. Le premier cantaloup aux États-Unis, «Topmark», est l'un des plus tolérants en la matière.

## **B. Pratiques de sélection actuelles et recherches sur la création variétale**

### **a) Principales techniques de sélection**

Jusqu'à une époque récente, la sélection consistait essentiellement à faire des croisements au sein des groupes bien que les croisements entre groupes soient totalement fertiles. Les groupes les moins fréquemment cultivés présentent quelques caractères importants et distinctifs qui méritent davantage l'attention. Ils ne sont pas bien représentés dans la plupart des collections de matériel génétique, mais toute recherche de caractères tels que la résistance aux maladies ou la tolérance de la salinité doit porter sur tous ces divers groupes.

La plupart des melons que l'on trouve dans le commerce ont une floraison andromonoïque. Les croisements entre plants voisins n'atteignent que les 10 pour cent. L'endogamie contrôlée n'est pas indispensable lorsque l'on pratique une sélection au sein de populations où les plants recherchés sont en faible proportion. Lorsque l'on souhaite procéder à des croisements, les fleurs hermaphrodites, identifiables aux ovaires qu'elles portent, doivent être castrées au stade du bouton à la veille de la floraison. Il y a plusieurs façons de procéder à la pollinisation croisée. Premièrement, si l'on veut procéder à plusieurs croisements avec le même parent mâle, les boutons mâles doivent être récoltés dans l'après-midi, conservés à température ambiante dans un sac en plastique ou autre récipient pour éviter le dessèchement, puis leur pollen est brossé sur les fleurs castrées après la déhiscence des anthères le lendemain matin. Deuxièmement, si on ne veut effectuer que quelques croisements avec un parent mâle donné, les boutons mâles doivent

être parfaitement clos ou ensachés sur place et prélevés le lendemain, après la déhiscence des anthères, pour être immédiatement utilisés. Troisièmement, les fleurs mâles peuvent être préparées comme précédemment, réfrigérées depuis le moment de la déhiscence, le lendemain matin, jusqu'à ce que les boutons soient castrés dans l'après-midi, puis pollinisées immédiatement, les fleurs hermaphrodites étant réceptives l'après-midi précédant leur ouverture.

Pour procéder à une autopolinisation lorsque tout croisement exogamique doit être évité, un bouton mâle et un bouton hermaphrodite du même plant sont étroitement clos ou ensachés dans l'après-midi précédant la floraison. Dans de nombreuses variétés, il se peut que la fleur hermaphrodite doive être un tant soit peu émasculée pour que les stigmates soient exposées suffisamment. Il faut protéger la fleur pollinisée contre la visite d'insectes pour le reste de la journée en l'ensachant ou en la couvrant avec une demi-capsule de gélatine.

Un gène dominant unique conditionne la floraison monoïque et simplifie le contrôle à la fois de l'endogamie et de l'exogamie. Malheureusement ce gène induit souvent un fruit allongé, une réticulation réduite et un bouturage peu efficace. Il faut des efforts considérables pour le combiner avec les gènes de modification qui annulent les effets indésirables, mais on utilise maintenant des formes monoïques appropriées à la production de semences ou de variétés hybrides.

On retrouve chez les melons le même choix que chez les concombres entre variétés à pollinisation libre et variétés hybrides, et on leur applique les mêmes pratiques de sélection. Autrefois, le prix des semences d'hybrides était beaucoup plus élevé parce qu'il fallait castrer à la main, et que ces semences servaient surtout lorsque la précocité était la qualité recherchée chez les hybrides. Il semble que l'utilisation de variétés hybrides se soit nettement accrue ces dernières années, bien que l'ampleur et les causes de cette tendance ne soient pas évidentes. Il est probablement important de pouvoir disposer de parents monoïques de bonne qualité.

On connaît des melons gynoïques (tous femelles) et on peut se procurer des gènes codant pour la stérilité mâle, mais ni l'un ni l'autre de ces matériaux n'ont été utilisés à ce jour de façon significative pour produire des semences hybrides.

## ***b) Principaux objectifs de la sélection***

Parmi les qualités communément recherchées, figurent précocité, richesse en sucre, saveurs aromatiques adéquates, aspect correspondant aux préférences du consommateur quant à la forme, la couleur, la taille et la réticulation, ainsi que la résistance aux maladies notoires dans la zone considérée. Nombre de ces qualités sont des caractéristiques superficielles qui changent suivant la région et sont sujettes à une évolution rapide. Une haute teneur en sucre et un rendement élevé en produits commercialisables sont toujours recherchés et se voient limités tous les deux dans de nombreuses régions par les maladies. Par conséquent, la résistance aux maladies est devenue un objectif majeur de nombreux sélectionneurs de melons.

Plusieurs gènes dominants confèrent la résistance à l'oïdium et certains sont associés à la nécrose autogène, qui peut exercer sur les plants des effets plus graves que l'oïdium lui-même. L'utilisation du gène codant pour la «race 1 PMR» dans PMR45 semble ne pas être dangereuse et confère une résistance utile sur de nombreux sites. Si la

«race 2 PMR» pose un problème, les variétés texanes comme Oerlita et TAM Uvalde possèdent une résistance qui n'est pratiquement pas associée avec une nécrose autogène.

Deux gènes dominants complémentaires induisant la résistance au mildiou (*Pseudo-peronospora cubensis*) proviennent de PI 124111, et un gène dominant unique induisant la résistance à *Alternaria cucumerina* est disponible dans la lignée MR-1 USDA (du ministère de l'Agriculture des États-Unis).

Les gènes dominants codant dans diverses races pour la fusariose sont connus et facilement transférables par rétrocroisement. Un gène dominant unique induisant la résistance à la pourriture noire du concombre a été signalé dans PI 14071, mais la résistance élevée de cette lignée n'a pas été transférée à des variétés commerciales malgré des efforts considérables, ce qui indiquerait un mécanisme de transmission plus complexe.

Des melons en provenance d'Inde se sont avérés résistants à plusieurs virus transmis par des pucerons. Le gène unique dominant induisant la résistance au virus de la tache annulaire chez la papaye (papaya ringspot virus – PRV), anciennement virus 1 de la mosaïque du melon d'eau, peut maintenant être obtenu dans le melon WMR29, bien réticulé et à chair orange mis au point par le ministère de l'Agriculture des États-Unis. La résistance à ce virus peut aussi accompagner un gène dominant codant pour la résistance au virus de la mosaïque jaune de la courgette chez certains plants de la lignée PI 414723. La résistance au virus de la mosaïque du melon d'eau (anciennement WMV2) se retrouve également chez cette lignée, associé probablement à un gène dominant unique. On a décelé dans le groupe conomon une résistance au virus de la mosaïque du concombre (CMV) qui est partiellement dominante; il faut au moins trois gènes pour conférer une forte résistance.

La résistance à des espèces précises de pucerons a été constatée chez PI 414723 mais à ce jour on n'a pas encore réussi à l'introduire dans une variété commerciale, probablement parce que les maladies sont un important facteur de limitation de la production de melons. Garantir la résistance à de multiples maladies devient urgent, car il est difficile de prévoir quelle résistance particulière serait la plus nécessaire dans une région donnée de production.

### III. COURGES ET CITROUILLES (ESPÈCE *CUCURBITA*)

#### A. Caractéristiques de la plante

##### a) *Origine géographique et répartition des utilisations*

Le genre *Cucurbita*, dont plusieurs espèces sont cultivées, est originaire du continent américain et on le trouve maintenant dans le monde entier.

## b) Taxonomie

Courges et citrouilles sont des noms usuels appliqués à quelques types appartenant à chacune des quatre principales espèces – *C. pepo*, *C. moschata*, *C. mixta* (maintenant considérée comme étant *O. argyrosperma*), et *C. maxima*. Les noms usuels prêtent à confusion parce que ce qui est appelé courge dans un endroit peut être appelé citrouille dans un autre. Le terme « pâtisson » (summer squash) s'applique habituellement aux fruits de *C. pepo* alors que le terme « potiron » (winter squash) s'applique aux fruits mûrs des quatre espèces. Aux États-Unis « pumpkin » désigne généralement les fruits de n'importe quelle espèce utilisés à des fins de décoration, dans des gâteaux, ou, moins souvent, comme aliment du bétail. Citons quelques variétés ou groupes variétaux représentatifs de chacune des espèces :

<i>Cucurbita pepo</i>	Citrouilles à gâteau et « Jack O'Lantern » Pâtisson, c'est-à-dire fruit consommé très jeune (Yellow Straightneck, Cocozelle, Zucchini, Patty Pan) Potiron (Table Queen ou Acorn) Coloquintes ou gourdes ornementales
<i>Cucurbita moschata</i>	Butternut squash, Golden Cushaw, Kentucky Field Pumpkin
<i>Cucurbita mixta</i>	Japanese Pie, Green-striped Cushaw
<i>Cucurbita maxima</i>	Hubbards, Delicious, Boston Marrow (courge), Queensland Blue Pumpkin (Australie), Atlantic Giant Pumpkin
<i>Cucurbita ficifolia</i>	Coloquinte à feuilles de figuier (la seule espèce vivace cultivée, utilisation très limitée)

## c) Caractéristiques génétiques et cytogénétiques

Les quatre principales espèces cultivées possèdent toutes 20 paires de chromosomes mais ne se croisent pas facilement les unes avec les autres. De très nombreux croisements aboutissent à seulement quelques graines qui donnent des plants soit partiellement fertiles soit autostériles. Les croisements les plus réussis ont été ceux de *C. pepo* avec *C. moschata*. Lors de ces croisements, la tendance au buissonnement a été transférée à *C. moschata* et la résistance aux maladies à *C. pepo*. Quelques variétés de *C. pepo* produisent plusieurs graines par fruit lorsqu'elles ont été pollinisées avec *C. moschata* mais d'autres ne donnent aucune graine. Il faut donc utiliser plusieurs variétés si l'on tente ce croisement.

Quelques espèces non comestibles de *Cucurbita* se croisent plus facilement avec certaines espèces cultivées que celles-ci ne se croisent entre elles. *C. andreana* et *C. ecuadorensis* donnent des hybrides fertiles lorsqu'on les croise avec *C. maxima*, et *C. martinii* se croise facilement avec *C. moschata*.

## d) Utilisations finales actuelles

Dans quelques régions, on consomme aussi bien les graines que la chair de ces fruits; les graines sont très nourrissantes.

## Mécanismes de reproduction

Toutes les espèces *Cucurbita* présentent une floraison monoïque et un plant donné réalise au moins 75 pour cent de croisements naturels avec les plants qui l'entourent. Il faut donc associer autopolinisation contrôlée et sélection dans la plupart des programmes d'amélioration. La consanguinité ne s'accompagne pas d'une perte sensible de vigueur et des lignées consanguines très uniformes peuvent être utilisées comme variétés elles-mêmes ou comme parents de variétés hybrides. La production à grande échelle de semences hybrides peut s'effectuer en supprimant les boutons de fleurs mâles sur les rangées parentales ou en pulvérisant de l'éthéphon pour empêcher les boutons mâles de se développer. Les techniques manuelles pour l'autopolinisation ou la pollinisation croisée sont similaires à celles qui ont été décrites pour les melons, à ceci près qu'il est moins nécessaire d'envisager de polliniser les boutons femelles puisqu'il n'est pas nécessaire de castrer chaque fleur individuelle de courge.

Un gène codant pour la stérilité-mâle a été trouvé chez une souche égyptienne de *C. pepo* et transféré à d'autres types de cette espèce. L'utilisation de ce gène pour la production de semences hybrides a été limitée puisque la moitié des plants des rangées de parents femelles sont fertiles et doivent être supprimés.

## Toxicologie

Les cucurbitacines que l'on trouve dans certaines variétés de *Cucurbita* sont plus toxiques que celles présentes chez d'autres cucurbitacées cultivées et elles ont parfois entraîné de graves intoxications. Cela a posé un problème dans le cas de quelques pâtisseries *C. pepo*, parce qu'il existe dans la même espèce des coloquintes ornementales amères qui peuvent provoquer une introgression de l'amertume si celle-ci n'est pas complètement éliminée lors de la production de semences. Après plusieurs générations de production de semences, des rétrocroisements naturels peuvent aboutir à une très faible proportion de plants amers qui ont exactement le même aspect que le reste de la population.

La plupart des espèces sauvages utilisées comme sources de résistance aux maladies ont un gène codant pour des fruits amers (*Bt*), et il faut donc procéder à une sélection dans les premières générations postérieures aux croisements. On ne peut pas détecter des plants à fruit amer avec certitude en goûtant les cotylédons.

## Besoins écologiques

Parmi les espèces cultivées, *C. maxima* est la mieux adaptée aux basses températures, *C. moschata* et *C. mixta* supportent les températures élevées, tandis que *C. pepo* tolère toute une gamme de conditions différentes. Cependant, certaines variétés de *C. pepo* réagissent aux faibles températures subies au début de leur cycle en ne produisant que des fleurs femelles et leur rendements précoces peuvent être décevants, en raison d'un manque de pollinisation.

Ce genre a tendance à être sensible à la photopériodicité et quelques formes, notamment les formes sauvages, peuvent avoir une floraison tardive si elles sont transférées sous de plus hautes latitudes. La période de floraison de ces espèces varie d'une année sur l'autre, ce qui donne à penser que la température interagit avec la photopériodicité.

## B. Pratiques de sélection actuelles et création variétale

### a) Principales techniques de sélection

Comme avec d'autres cucurbitacées, il s'agit essentiellement de choisir entre la sélection généalogique avec consanguinité forcée et le rétrocroisement. Le recours à cette dernière méthode est presque indispensable pour obtenir des lignées commerciales à partir de croisements intergénériques. Ces deux procédures permettent d'obtenir des lignées uniformes pures pour le caractère recherché qui peuvent servir soit comme variétés, soit comme parents de variétés hybrides. Les hybrides sont surtout utilisés pour obtenir des pâtissons (*C. pepo*) lorsqu'une récolte précoce constitue le principal avantage et que la tendance à la croissance buissonnante facilite la production de semences hybrides. Les variétés hybrides sont utilisées dans une moindre mesure dans les potirons d'autres espèces.

Une pratique de sélection qui est particulière au genre *Cucurbita* est la sélection massale dans la mise au point de quelques variétés récentes. Les sélectionneurs de citrouilles destinées à la présentation ont créé, de cette façon, quelques variétés recherchées. Cette pratique est sans doute responsable des quelques variétés locales que l'on trouve dans les pays en voie de développement. Même si avec cette méthode les changements se font lentement, il faut l'encourager car elle est peu onéreuse, elle produit des variétés adaptées aux conditions de production et de commercialisation locales, et permet de produire des semences sur place.

### b) Principaux objectifs de la sélection

*C. pepo* est probablement l'espèce du genre *Cucurbita* la plus largement exploitée si l'on considère ses diverses formes et leur adoption dans la culture. C'est aussi l'espèce la plus sujette aux maladies et chez laquelle on a trouvé fort peu de résistance. La résistance aux maladies a donc une haute priorité. *C. martinizii* (synonyme de *C. okeechobeensis*) possède une excellente résistance à l'oïdium qui a été transférée à *C. pepo* en utilisant *C. moschata* comme espèce relais. Cette résistance maintenant s'obtient rapidement par rétrocroisement dans n'importe quelle variété de *C. pepo* puisqu'un gène unique essentiellement dominant confère un degré satisfaisant de résistance dans la plupart des conditions de plein champ. Cette résistance à l'oïdium assure une meilleure qualité aux potirons *C. pepo* et diminue la tendance de la citrouille ornementale à pourrir. Ce même matériel interspécifique assure aussi la résistance à la mosaïque du concombre dont le mécanisme de transmission est beaucoup plus complexe et qui est beaucoup plus difficile à transférer. *C. martinizii* est également résistant à la pourriture noire du concombre.

Provvidenti *et al.* (1984) ont décelé chez *C. moschata* «Nigerian Local» une résistance au virus de la mosaïque du concombre, au virus de la tache annulaire de la papaye, au virus de la mosaïque du melon d'eau et au virus de la mosaïque jaune de la courgette. Si l'hérédité de ces résistances n'est pas bien comprise, la résistance au virus de la mosaïque jaune de la courgette a été transférée à *C. moschata* «Waltham Butternut» et semble fonctionner comme un gène unique dominant. Il a été plus difficile de transférer la résistance à la mosaïque jaune de la courgette chez *C. pepo*, en partie parce que l'absence de symptômes sur les fruits est parfois sans rapport avec l'absence de symptômes sur les feuilles. A n'en pas douter, la résistance à de multiples virus en même temps

qu'à l'oïdium sera incorporée dans quelques années à toute une gamme de variétés de *C. pepo*.

*C. moschata* est beaucoup moins sensible aux maladies que *C. pepo*, mais la variété «Butternut», probablement la plus importante du genre *Curcubita* aux États-Unis, est parfois attaquée par le mildiou et par le virus de la mosaïque jaune de la courgette. L'incorporation des résistances correspondantes est en bonne voie.

En outre, *C. maxima* n'est pas aussi sensible aux maladies que *C. pepo* mais sa résistance pourrait être utile et R.W. Robinson a transféré la résistance à plusieurs virus chez *C. ecuadorensis* à la variété «Golden Delicious» de *C. maxima*.

Lorsque *C. pepo* est cultivé sur de petites surfaces, telle que des jardins privés, il subit fréquemment de grosses pertes du fait du perceur de la courge. On sait depuis longtemps que «Butternut» n'est presque jamais attaqué par cet insecte. On a donc tenté de transférer cette résistance à des populations interspécifiques, mais, sur les grandes surfaces de semis nécessaires à cette fin, l'infestation n'a pas été assez uniforme pour permettre une sélection efficace. Jusqu'à présent, on n'a pas encore réussi à élever les insectes de façon à pouvoir réaliser une infestation artificielle.

Il arrive, chez *C. pepo* comme chez le concombre, que le plant soit amer mais non le fruit. Les chrysomèles du concombre endommagent bien davantage les variétés à plants amers que celles aux plants sans amertume, et des efforts sont en cours pour transférer aux premières les propriétés des secondes, la courgette étant le candidat principal à la transformation.

## IV. MELON D'EAU

### A. Caractéristiques de la plante

Pendant des années le melon d'eau, ou pastèque, a été répertorié comme *Citrullus vulgaris*, mais on estime maintenant que l'appellation correcte est *Citrullus lanatus*. Il est originaire d'Afrique où l'on trouve plusieurs espèces apparentées. Il constitue maintenant une culture importante dans le monde entier, notamment dans les régions tropicales et subtropicales. Dans certains endroits, on mange aussi bien les graines que la chair des fruits. *C. lanatus* se croise facilement avec *C. colocynthis*, plante pérenne aux fruits amers que l'on trouve en Afrique du Nord. Cette espèce a été une source de résistance aux maladies mais son pollen peut donner naissance à des hybrides amers si l'on entreprend de produire des semences de melon d'eau trop près de terres non cultivées. Les deux espèces possèdent onze paires de chromosomes.

### Mécanismes de reproduction

La plupart des melons d'eau, ou pastèques, sont monoïques (fleurs mâles et fleurs femelles séparées) mais un petit nombre sont andromonoïques (fleurs mâles et fleurs hermaphrodites). Ces plantes sont pollinisées naturellement par des insectes et présentent un degré élevé de pollinisation croisée. Mais elles ne perdent pas de vigueur lorsque l'on

pratique la consanguinité pour arriver à l'uniformité. L'autogamie ou l'exogamie sont pratiquées sous contrôle de la façon décrite précédemment pour d'autres cucurbitacées. Des cas de stérilité mâle ont été constatés mais celle-ci ne s'est pas avérée utile jusqu'à présent pour la production à grande échelle de semences hybrides.

## **Toxicologie**

Même si l'amertume se retrouve dans des fruits d'espèces non comestibles de *Citrullus* et chez les produits de leur croisement naturel avec des melons d'eau, des cas d'intoxication résultant de la consommation de fruits amers n'ont pas été signalés. Apparemment, les cucurbitacines du melon d'eau ne sont pas suffisamment toxiques pour provoquer des malaises dans les concentrations qu'un individu est susceptible d'absorber.

## **Exigences écologiques**

Les melons d'eau sont semblables aux autres melons en ce sens que, pour une bonne production, il leur faut des températures relativement élevées. Cependant, il existe des variétés précoces qui arrivent à maturité aussi tôt que *C. melo* et qui sont aussi bien adaptées que cette variété aux états les plus septentrionaux des États-Unis. Elles sont moins cultivées dans ces régions bien qu'elles soient moins sujettes aux maladies et plus susceptibles de produire des fruits de bonne qualité. Cette anomalie s'explique probablement par le fait que la production est plus fiable dans les états du sud et que les fruits sont commercialisés en grande quantité plusieurs semaines avant que les melons locaux soient mûrs dans le Nord, à quel moment l'intérêt des consommateurs s'est porté sur d'autres fruits.

## **B. Pratiques actuelles de sélection**

### **a) Principales techniques de sélection**

Les pratiques de sélection sont similaires à celles qui sont utilisées pour d'autres cucurbitacées à une importante exception près : l'utilisation d'hybrides triploïdes pour produire des melons d'eau sans graines. Les semences parentales utilisées pour ces hybrides sont des lignées tétraploïdes obtenues en doublant les chromosomes de diploïdes présentant les caractères recherchés grâce à un traitement à la colchicine. Des parents mâles diploïdes convenables sont ensuite identifiés en testant de nombreux hybrides triploïdes expérimentaux. Il faut planter des plants diploïdes dans des champs de triploïdes de variétés commerciales, parce que les fruits ne se développeront pas sans la stimulation du pollen diploïde. D'autres facteurs ont freiné la commercialisation des hybrides triploïdes. Le prix des semences est plusieurs fois plus élevé que celui des hybrides diploïdes et les graines sont difficiles à faire germer si on ne les expose pas à des températures élevées. Pourtant, des melons d'eau sans graines sont produits en quantité notable à Taïwan et dans d'autres pays asiatiques, et d'après une estimation fiable, les variétés triploïdes représentent maintenant environ 7 pour cent de la production des États-Unis. Des sociétés semencières américaines consacrent beaucoup d'efforts à des programmes de sélection de triploïdes.

Les variétés hybrides diploïdes ont pris une importance considérable au cours des années 80 et sont maintenant, d'après les estimations, utilisées dans près de la moitié de

la production des États-Unis. On ne se sert pas de la stérilité mâle. Les semences hybrides sont obtenues par pollinisation à la main ou en supprimant les boutons des fleurs mâles dans les rangées de parents femelles.

### **b) Principaux objectifs de la sélection**

La résistance à la fusariose a été un objectif majeur de la sélection du melon d'eau pendant la plus grande partie de ce siècle. A la suite du premier effort organisé pour sélectionner une variété résistante à la maladie aux États-Unis, W.A. Orton du ministère de l'Agriculture des États-Unis a mis sur le marché en 1911 la pastèque «Conqueror» résistante à la fusariose. L'origine de cette résistance était le porte-greffe non comestible du cédrat. Depuis, de nombreux programmes de sélection ont produit de nombreuses variétés résistantes à la fusariose. Les études de l'hérédité ont été rendues laborieuses du fait de l'existence de différentes races de cet organisme pathogène et parce que la résistance est sous la dépendance de plusieurs gènes dont la plupart sont récessifs. Cependant, on a identifié un gène dominant codant pour la résistance à la race 1.

La résistance à l'anthracnose provoquée par *Glomerella cingulata* var. *obicularis*, est tout aussi importante que la résistance à la fusariose. Les variétés «Charleston Gray» et «Crimson Sweet» dominent aux États-Unis depuis de nombreuses années parce qu'elles combinent la résistance à ces deux maladies avec de nombreuses propriétés recherchées en horticulture.

Par ailleurs, «Sugar Baby» qui ne possède aucune résistance à la maladie, reste la principale variété dans certaines parties d'Asie. Les fruits de cette espèce sont plus petits que ceux de la plupart des autres variétés, et les raisons de son succès en Asie ne sont pas évidentes.

Parmi les autres importantes propriétés recherchées, on peut citer la résistance à la pourriture noire du concombre, la durabilité lors d'expédition, la haute teneur en sucre, des fruits ayant la taille, la forme et la couleur requises pour le marché auquel ils sont destinés, et la tendance nanisante des plants, ce qui facilite la récolte.

## **C. Multiplication commerciale des semences**

Une fois qu'une lignée recherchée est jugée apte à la diffusion, soit en tant que variété à utiliser directement, soit en tant que parent de variétés hybrides, ses graines peuvent être multipliées très rapidement. Si les plants sont très espacés et si les conditions sont favorables à la croissance, une seule graine peut être multipliée par mille ou davantage. Comme la plupart des légumes, les semences destinées à la production commerciale de cucurbitacées s'achètent d'ordinaire auprès de compagnies semencières spécialisées. Les instituts publics de sélection végétale fournissent habituellement de petites quantités des semences de base à ces sociétés, parfois à titre gratuit, parfois contre paiement, et parfois contre des droits en fonction de la quantité de semences finalement vendue. La certification est rarement utilisée pour garantir la qualité des semences, celle-ci étant essentiellement assurée par la réputation des entreprises semencières concernées.

Un des avantages des variétés de cucurbitacées à pollinisation libre sur les hybrides est que les agriculteurs, s'ils ne peuvent pas les procurer facilement auprès des semenciers, peuvent multiplier eux-mêmes les semences.

Quel que soit le mécanisme utilisé pour multiplier les semences, tout institut public de sélection doit conserver des semences viables pures des espèces qu'il diffuse afin de renouveler les stocks de plantation des semenciers professionnels, si besoin est, et de garder des lignées pures à titre de référence dans l'éventualité d'une dégradation des sources commerciales.

## Références

- BASSETT, M.J., dir. pub. (1986), *Breeding Vegetable Crops*, Avi Publishing Co., Westport, Connecticut.
- BATES, D.M., R.W. ROBINSON et Charles JEFFREY, dir. pub. (1990), *Biology and Utilization of the Cucurbitaceae*, Cornell University Press, Ithaca, New York.
- KYLE, M.M., dir. pub. (1993), *Resistance to Viral Diseases of Vegetables : Genetics and Breeding*, Timber Press, Portland, Oregon.
- PROVVIDENTI, P., D. GONSALVES et H.S. HUMAYEAN (1984) "Occurrence of zucchini yellow mosaic virus in cucurbits from Connecticut, New York, Florida and California", *Plant Diseases*, vol. 68, pp. 443-446.
- THOMAS, C.E., dir. pub. (1989), *Proceedings of Cucurbitaceae 89 : Evaluation and Enhancement of Cucurbit Germplasm, Nov. 29-Dec. 2, 1989*, Charleston, Caroline du Sud.