

## 5. Le coton

*par*

Johnie N. Jenkins

### A. Caractéristiques de la plante

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

Le coton, *Gossypium* ssp., est cultivé depuis des millénaires dans de nombreuses parties du monde. Tous les cotons cultivés appartiennent aux espèces *G. hirsutum* L. (AD1) ou *G. barbadense* L. (AD2), des allotétraploïdes du génome AD, à l'exception de petites superficies de *Gossypium arboreum* L. (génome diploïde A1) en Inde et de petites superficies de *G. herbaceum* L. (génome diploïde A2) dans les régions plus sèches d'Afrique et d'Asie. Le centre d'origine géographique du *G. hirsutum*, le coton prédominant dans le commerce, se trouve en Amérique du Nord et centrale et au Mexique, et celui du *G. barbadense*, le coton à fibre extra-longue du commerce, se trouve en Amérique du Sud. La culture du *G. arboreum* en Inde remonte à 3 000 ans d'après les annales. Le coton précolombien était important au Brésil, au Pérou, au Mexique et en Amérique centrale. En Amérique du Nord, durant la période coloniale, le coton a été l'une des premières cultures à être exploitée avec succès dans ce qui est maintenant la partie orientale de la zone cotonnière des États-Unis (Cotton Belt).

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

Environ 90 pour cent de la production mondiale du coton se compose de *G. hirsutum*. Les États-Unis (4.7 millions d'ha pour une valeur de 5.1 milliards de dollars), l'ex-Union soviétique et la Chine (5.58 millions d'ha) sont les trois plus grands pays producteurs de coton. Il se cultive aussi dans de nombreux autres pays et contribue de manière importante à l'économie de tous. Les chiffres de la production pour 1990 sont : Amérique du Nord et centrale : 5.04 millions d'ha, Amérique du Sud : 3.5 millions d'ha, Europe : 3.1 millions d'ha; Afrique : 3.4 millions d'ha; et Asie, Moyen-Orient et Océanie : 17.7 millions d'ha, pour une production mondiale totale de 33.3 millions d'ha (ministère de l'Agriculture des États-Unis, 1991). La plupart des nations d'Afrique ainsi que le Moyen-Orient produisent du coton. L'utilisation principale du coton dans le monde entier concerne sa fibre qui est filée. La graine est un produit secondaire dans la plupart des pays. Seuls les États-Unis et quelques autres pays ont mis au point d'importants produits commerciaux à partir de la graine.

La vallée de San Joaquin en Californie ne permet que la production commerciale de variétés dont les propriétés fibreuses sont approuvées par le Comité Acala. Cela assure une fibre de qualité élevée et uniforme pour tout le coton produit dans cette vallée de la Californie. Cette fibre fait l'objet d'une prime sur le marché. Le coton Pima des États-Unis (un coton *G. barbadense* à fibres extra-longues) est essentiellement cultivé en Arizona, ainsi que sur des superficies limitées au Nouveau-Mexique et en Californie. L'Association Supima est la coopérative de contrôle de ce coton à fibre extra-longue de haute qualité. L'Égypte aussi cultive un coton à fibre extra-longue qui est aussi du *G. barbadense*. Une superficie assez grande de *G. barbadense* est aussi cultivée dans la province de Xinjiang en Chine occidentale.

### c) *Position taxonomique*

Il existe 39 espèces de coton, mais seulement quatre possèdent des fibres qui peuvent être filées. Les espèces sauvages ont tendance à être vivaces, poussent comme de petits buissons et n'ont sur leurs graines que de petits duvets qui ne peuvent pas être filés.

### d) *Caractéristiques génétiques et cytogénétiques*

Les espèces allotétraploïdes *G. hirsutum* et *G. barbadense* résultent d'un ancien croisement naturel entre le génome diploïde A de l'ancien monde et une espèce inconnue du génome diploïde D du nouveau monde, suivi d'un doublement spontané des chromosomes pour former l'allotétraploïde. *G. arboreum* contient le génome A1 diploïde et *G. herbaceum* le génome A2 diploïde.

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

Les insectes posent un problème très important pour la production du coton. Les plus importants sont les larves de l'ordre des lépidoptères; plusieurs insectes de l'ordre des hétéroptères, les Miridae; l'*Anthonomus grandis* Boheman ou l'anthonome du cotonnier; l'*Aphis gossypii* Glover ou puceron du cotonnier; le *Bemisia tabaci* (Grennadius) ou la mouche blanche du tabac; le *Trialeurodes abutilonea* (Haldeman), ou aleurode du coton; et le *Tetranychus* ssp. ou araignée rouge. Leur contrôle nécessite en général l'utilisation de pesticides et augmente les coûts de production. Les pucerons et les mouches blanches secrètent une substance appelée «miellat» à haute teneur en sucre qui rend la fibre collante, ce qui est un problème très important pour le filage du coton. Bien que l'anthonome du cotonnier ne soit nuisible que dans certaines parties du Mexique, d'Amérique du Nord, centrale et du Sud, un grand nombre des autres insectes ravageurs sévissent dans le monde entier.

Le ver rose du cotonnier, *Pectinophera gossypiella* (Saunders), et certaines maladies comme la bactériose du cotonnier, *Xanthomonas malvacearum*, peuvent être portés sur la graine. C'est pourquoi des certificats phytosanitaires et/ou le délantage à l'acide (suppression du duvet) de la graine par traitement à l'acide sulfurique sont nécessaires pour le transport des graines et l'échange de matériel génétique entre de nombreux pays.

### f) *Utilisations finales actuelles*

Les caractéristiques importantes de la fibre pour l'industrie textile sont la longueur de la fibre, sa résistance, sa finesse, sa maturité, son allongement et l'uniformité de sa

longueur. La fibre doit correspondre à certains critères de qualité sinon elle n'est pas utile pour le commerce. Des mesures et méthodes normalisées sont appliquées aux fibres dans le monde entier. Le test du High Volume Instrument (HVI) est exigé pour les échanges aux États-Unis et est utilisé dans de nombreux pays du monde.

## **Mécanismes de reproduction**

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

Les fleurs de coton sont entourées de trois bractées triangulaires et l'ensemble formé par le bourgeon et les bractées est appelé bouton floral. Le pollen se déverse directement sur le stigmate lorsque les anthères s'ouvrent ou il peut y être amené par les insectes. Le pollen du coton est lourd et n'est donc pas emporté par le vent. Il est également couvert d'épines et n'est donc pas apprécié de beaucoup d'insectes pollinisateurs comme l'abeille domestique *Apis mellifera*. On considère que le coton est une espèce cultivée «souvent croisée», mais il se comporte essentiellement comme une espèce autofécondée. La proportion d'autofécondation varie avec la population d'insectes pollinisateurs. L'utilisation abondante d'insecticides pour lutter contre les insectes ravageurs limitera fortement l'ampleur de la pollinisation croisée. Étant donné que cette pollinisation croisée ne se produit que par les insectes, la plupart des pollinisations croisées ne concernent que les plantes situées à moins de 30 m les unes des autres.

### ***b) Vivace ou annuelle***

Le coton est une plante vivace à l'état sauvage, que l'homme a forcée par la sélection et par la gestion à se comporter comme une plante annuelle. Dans les zones tropicales et dans certaines zones tempérées, il poussera comme une plante vivace à moins d'être forcé par la gestion des cultures, en général par destruction du pédoncule, à pousser comme une plante annuelle.

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

Les espèces sauvages de coton ont en général un pourcentage assez élevé de graines que l'on appelle «graines dures», c'est-à-dire qu'elles survivent une saison ou plus avant la germination. Il s'agit d'un mécanisme de survie positif pour le coton sauvage, que les obtenteurs ont éliminé par sélection dans les variétés modernes. La graine de coton commercialisée doit être manipulée selon certaines normes pour préserver la qualité de la germination. Dans les milieux humides, les graines qui restent sur le champ ne survivront en général pas jusqu'à la saison suivante.

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

Le coton n'est pas étroitement apparenté à une autre plante cultivée ou à d'autres genres et les croisements ne sont habituellement fertiles qu'avec une espèce présentant une certaine compatibilité interspécifique, comme le *G. hirsutum* avec le *G. barbadense*. Il n'existe aucun caractère important connu hérité par le cytoplasme. Un système cytoplasmique nucléaire qui crée une stérilité mâle a été signalé dans la littérature.

Dans les régions des États-Unis où est cultivé le coton, il n'existe aucune espèce de coton sauvage ou apparenté qui forme des hybrides fertiles avec le coton commercialisé.

A Hawaï pousse une espèce sauvage (*G. tomentosum* Nutt.) qui peut se croiser avec les cotons commerciaux ; cependant, aucun coton commercial n'est produit à Hawaï. Des parcelles de recherche consacrées au coton sont cultivées à Hawaï et il faudrait peut-être se préoccuper de leur isolement là, ainsi que dans quelques autres parties du monde, où des croisements accidentels donnant des cotons diploïdes pourraient éventuellement se produire. Ceci constitue une préoccupation légitime pour certains caractères ; toutefois, la question doit être considérée cas par cas.

## **Toxicologie**

Il n'existe aucun produit toxique important dans la fibre de coton. Le Bissinosis, une maladie des poumons, qui pose parfois un problème dans l'industrie du filage, peut être lié aux produits contaminants biologiques sur la fibre de coton. La graine de coton contient des composants apparentés au phénol, notamment le gossypol, ce qui limite son utilisation directe pour l'alimentation des animaux non ruminants. Les niveaux actuels de composés phénoliques dans les graines ne causent en général pas de problèmes pour son emploi dans l'alimentation des ruminants, mais la présence de gossypol dans la graine limite son utilisation directe pour l'alimentation humaine et décolore l'huile. Cependant, l'huile peut être clarifiée par des moyens commerciaux et ainsi rendue apte à la consommation humaine.

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

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

De nombreuses espèces sauvages et apparentées au coton commercial sont sensibles à la longueur du jour et nécessitent des jours courts et de longues nuits pour fleurir ; ainsi, elles ne fleuriront pas en été dans beaucoup de régions productrices de coton, comme le « Cotton Belt » des États-Unis. En général, les cotons commerciaux ne sont pas sensibles à la longueur du jour. Le coton est en général cultivé dans les zones tempérées et tropicales et requiert environ 125 à 160 jours de saison de végétation pour produire une récolte. Il est cultivé jusqu'à 43° N dans les vallées désertiques de Russie et jusqu'à 45° N en Chine et des efforts ont été entrepris pour étendre la zone de production vers le nord aux États-Unis.

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

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

#### ***i) La sélection***

A une certaine époque, les programmes publics de sélection aux États-Unis portaient l'accent sur la mise au point de matériel génétique plutôt que de variétés. A présent les recherches menées dans la plupart des stations agricoles expérimentales des états portent sur les deux domaines. Les programmes de recherches du Service de recherches agricoles (ARS) du ministère de l'Agriculture des États-Unis mettent l'accent sur les études à haut risque et la mise au point de matériel génétique. L'ARS accord une priorité aux recherches de présélection sur la résistance aux parasites et les propriétés qualitatives des fibres

à partir de parents sauvages du coton. En outre, la collection, la conservation et l'évaluation du matériel génétique de *G. hirsutum* et de *G. barbadense* relèvent essentiellement de la responsabilité de l'ARS.

L'association privée Supima met au point des variétés de coton Pima aux États-Unis. Il y a plusieurs sociétés commerciales de sélection des graines pour les cotons d'altitude *G. hirsutum* aux États-Unis. Une de celles-ci met l'accent sur les hybrides  $F_2$ ; elle utilise un gamétocide mâle chimique pour rendre les fleurs mâles-stériles et pollinise les graines  $F_1$  dans les champs au moyen d'une colonie d'abeilles. Ces graines  $F_1$  sont avancées d'une génération pour être vendues comme « $F_2$  provenant d'hybrides». La plupart des sociétés américaines vendent des variétés; hors des États-Unis, la sélection des graines de coton et le développement des variétés relèvent en général de la responsabilité de diverses agences gouvernementales.

Les hybrides  $F_1$  sont produits par émasculatation et pollinisation à la main en Chine et en Inde. Certains hybrides indiens sont interspécifiques entre le *G. hirsutum* et le *G. barbadense*. A l'heure actuelle, un système satisfaisant pour la pollinisation en champ mâle-stérile et restauratrice de pollen n'existe pas pour le coton, ce qui limite le développement des hybrides  $F_1$  à usage commercial; par conséquent, la plus grande partie du coton commercial à travers le monde est le produit de variétés plutôt que d'hybrides.

## ii) Techniques particulières

Dans un programme type de sélection, des croisements manuels sont réalisés entre des parents sélectionnés ou des hybrides  $F_1$ . Les graines sont avancées par autofécondation à la génération  $F_2$ , où chaque plant est autofécondé et les graines sont semées sur une même ligne. Ensuite, les plants sont sélectionnés, ou la ligne est récoltée en masse jusqu'au stade  $F_5$  ou  $F_6$ , en utilisant des lignes simples ou doubles d'environ 20 m de long sur un site unique. Au-delà des générations  $F_5$  ou  $F_6$  (essentiellement stables), les lignées sont évaluées à des emplacements multiples, ordinairement dans des parcelles à deux lignes. La sélection relative au type de plantes, aux propriétés des fibres et au pourcentage de fibres est pratiquée dans les premières générations, et les descendances présentant des caractères inférieurs à certains minima sont rejetées. La plupart des variétés sont le produit du groupement de plusieurs lignées sœurs sélectionnées dans la génération  $F_6$  ou  $F_7$ .

Les caractères à gène unique sont souvent rétrocroisés dans des variétés par un rétrocroisement direct et un programme de sélection. Les parents sauvages du coton d'altitude servent de réservoir de diversité important pour l'amélioration des variétés. La collection de matériel génétique des races sauvages de *G. hirsutum* contient des gènes pour améliorer la résistance aux parasites, la qualité des fibres et d'autres caractères; cependant, on les trouve ordinairement dans des lignées non adaptées et elles ont une productivité relativement faible. Le génie génétique et les technologies de recombinaison de l'ADN fournissent d'autres sources utiles de la diversité nécessaire pour des caractères comme la résistance aux parasites et la qualité des fibres. L'endotoxine delta, produit par un gène provenant du *Bacillus thuringiensis*, utile pour contrôler les chenilles du coton, est un exemple d'un caractère tiré d'une autre source que le coton.

Des lignées de coton génétiquement modifiées portant des gènes d'autres organismes sont actuellement évaluées aux États-Unis du point de vue de leur résistance aux insectes lépidoptères (gène de l'endotoxine delta du *Bacillus thuringiensis* de la variété *kurstaki*) et de leur tolérance à certains herbicides (glyphosate et bromoxynil). A l'heure

actuelle, les caractères intéressants sont le produit d'un gène unique. Les caractères de ces lignées de coton modifiées génétiquement devraient réduire l'usage de pesticides et/ou permettre une utilisation plus sélective de ceux qui sont moins nuisibles à l'environnement.

Le génie génétique ne va probablement pas réduire de façon importante le temps nécessaire pour mettre au point une variété. Toutefois, elle offre l'occasion d'utiliser, pour améliorer les variétés, des gènes qui ne sont pas disponibles dans le genre *Gossypium*. Les biotechnologies, sous la forme du génie génétique, fournit un moyen important d'élargir le matériel génétique disponible pour l'amélioration du coton.

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

Le rendement et la qualité des fibres sont des objectifs importants dans tous les programmes de sélection commerciaux. Toutes les fois que des gènes de résistance aux parasites sont disponibles, on les applique aussi dans le programme. Les exigences de qualité des fibres sont importantes dans le monde entier.

#### ***c) Tests des résultats de la sélection***

On utilise des instruments pour mesurer la longueur des fibres, leur résistance, leur uniformité et l'indice micronaire (combinaison de la finesse et de la maturité des fibres). Une corrélation négative existe entre le rendement en fibres et leur résistance, ce qui pose des problèmes dans les programmes de sélection où une augmentation des deux qualités est importante.

#### ***d) Évaluation des performances/comportement d'ensemble***

Le rendement est mesuré dans plusieurs environnements et les sociétés de sélection de semences pratiquent en général une combinaison d'essais donnant un produit des années et des environnements de 20 ( $N \text{ années} \times Y \text{ environnements} = 20$ ) avant de placer une variété dans le réseau de vente et de production.

Dans les programmes de sélection aux États-Unis, des lignées avancées, appelées souches supérieures, sont introduites dans des essais d'évaluation supervisés par les États sur de multiples emplacements pendant deux ou trois ans avant qu'elles ne soient homologuées comme variétés ou hybrides pour la production commerciale. Presque toutes les souches avancées destinées à devenir des variétés sont étudiées pendant au moins un an dans la pépinière nationale Root-knot Nematode/*Fusarium* Wilt à Tallassee, Alabama. Cette pépinière est gérée comme un projet coopératif entre l'ARS et la Station agricole expérimentale de l'Alabama. La décision de faire d'une souche supérieure une variété commerciale relève de la responsabilité de la société de sélection des graines impliquée dans leur mise au point.

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

### **a) Étapes de la production**

La plupart des agences de sélection et des sociétés commerciales des États-Unis stockeront plusieurs tonnes de graines de la variété originale (dénommées semences d'obteneur) dans des salles de stockage dont l'environnement est contrôlé et prévues pour conserver la qualité des graines et la germination pendant plusieurs années. Chaque année, une quantité de semences d'obteneur est enlevée de cette réserve et fournit le noyau pour parvenir, par une nouvelle multiplication des graines, au stade des semences de base. Ces graines sont cultivées (multipliées) pendant un an, puis sont appelées semences enregistrées. Ces graines sont multipliées pendant un an et sont vendues comme graines classées ou certifiées à semer par le producteur. Après les premiers croisements, dix années sont ordinairement nécessaires pour qu'une nouvelle variété soit vendue sur le marché, mais cette période pourrait être raccourcie dans certains cas pour les hybrides. Au cours du test final et de la production de graines, l'obteneur étudie soigneusement les données de rendement et de qualité des fibres de chaque emplacement.

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

Étant donné que le coton est en général autofécondé et que la plupart de la production de graines certifiées se fait dans des régions où il y a peu d'insectes pollinisateurs dans les champs, seule une séparation minimale (5 m) est requise entre les différentes variétés, à moins qu'il y ait des différences évidentes de morphologie, comme la couleur de la fleur ou la forme de la feuille. Dans ce cas, 536 m sont ordinairement nécessaires entre les variétés.

### **c) Certification et enregistrement des semences ; protection des variétés**

Au cours de la production finale de graines par des producteurs de graines certifiées, les champs et les égreneuses sont soumis aux normes promulguées par le service de certification des semences de l'État et par les responsables des sociétés de sélection des graines.

Aux États-Unis, les semences des variétés sont ordinairement vendues comme une classe de semences certifiées. La certification des semences relève de la responsabilité des diverses agences de réglementation des états ; toutefois, les sociétés ont habituellement des producteurs sous contrat et toutes les semences sont vendues par la société qui les met au point ou sous leur nom de variété ou leur marque par des producteurs patentés ou des négociants en semences. Le but de la protection des variétés de plantes au titre de la Loi 91-577 est énoncé comme suit : promouvoir et protéger les investissements commerciaux accrus pour le développement de nouvelles variétés d'espèces cultivées à reproduction sexuelle non hybridées, en raison d'un souci croissant de protéger les droits des obtenteurs. Un bureau de la protection des variétés de plantes a été créé dans le Service du marketing agricole de l'USDA pour gérer cette loi.

D'après le *Manuel des règlements sur la certification des semences* de l'Association d'amélioration des semences du Mississippi (Mississippi Seed Improvement Association), les graines classées ou certifiées sont définies comme suit :

*Semences d'obtenteur* : «Les semences d'obtenteur sont les semences directement contrôlées par l'institution ou la personne qui est à l'origine de la sélection des plantes ou la parraine, ou par le mandataire de celle-ci. Par rapport aux semences certifiées, les semences d'obtenteur sont la source de production des semences des autres classes de semences certifiées. Si les semences d'obtenteur doivent être étiquetées, elles doivent l'être avec une étiquette blanche mentionnant "Semences d'obtenteur".»

*Semences de base* (Étiquette blanche) : «Les semences de base sont des semences qui sont les descendantes des semences d'obtenteur ou de base produites sous le contrôle de l'institution ou de la personne qui est à l'origine de la sélection des plantes ou la parraine, ou du mandataire de celle-ci. Par rapport aux semences certifiées, les semences de base sont une classe de semences certifiées produites dans le cadre des procédures établies par l'agence de certification dans le but de conserver la pureté et l'identité génétiques. Les semences de base seront étiquetées avec des étiquettes blanches émises par l'agence officielle de certification des semences.»

*Semences enregistrées* (Étiquette violette) : «Les semences enregistrées seront la descendance des semences d'obtenteur ou de base manipulées dans le cadre de procédures acceptables à l'agence de certification afin de conserver une pureté et une identité génétiques satisfaisantes. Les semences enregistrées seront étiquetées avec des étiquettes violettes émises par l'agence officielle de certification des semences.»

*Semences certifiées* (Étiquette bleue) : «Les semences certifiées à étiquette bleue seront la descendance des semences d'obtenteur, de base ou enregistrées, manipulées de façon à conserver une pureté et une identité génétiques satisfaisantes, selon des modalités acceptables à l'agence de certification (voir exception : *Nombre limite de générations*).»

*Nombre limite des générations* : «Le nombre de générations à travers lesquelles une variété peut être multipliée sera limité à celui spécifié par l'obtenteur ou le propriétaire de la variété et ne dépassera pas deux générations au-delà de la classe des semences de base, avec les exceptions suivantes : a) la Recertification de la classe certifiée à étiquette bleue peut être autorisée pour les variétés plus anciennes pour lesquelles la semence d'origine n'est pas conservée; b) la production d'une nouvelle génération de la classe certifiée à étiquette bleue ne peut être autorisée que pour un an, lorsqu'une urgence est définie par l'agence de certification, qui déclare que les fournitures de semences d'obtenteur et de base ne sont pas suffisantes pour planter la superficie nécessaire de la variété certifiée à étiquette bleue. L'autorisation de l'obtenteur, de l'organisme ou de la société qui a été à l'origine de la sélection ou l'a parrainée, ou du propriétaire de la variété, s'il y en a un, doit être obtenue. La nouvelle génération de semences certifiées à étiquette bleue qui répond à l'urgence ne peut pas faire l'objet d'une recertification.»

#### **d) Surveillance du comportement des variétés**

Tous les états producteurs de coton des États-Unis effectuent des essais annuels des variétés pour toutes les variétés couramment vendues. Il s'agit d'essais sur de multiples emplacements. En outre, les sociétés commerciales de sélection des semences réalisent leurs propres essais de variétés. Les résultats sont publiés chaque année et sont utilisés par les producteurs et le personnel de vulgarisation pour le choix ou les recommandations de variétés. Les semenciers utilisent aussi ces données pour suivre la performance relative



de leurs variétés. Les variétés de coton ne sont pas sujettes à l'«épuisement», mais de nouvelles espèces ou biotypes de parasites peuvent se développer et affecter la performance des variétés. Les essais annuels permettent de détecter ces problèmes.

Des essais nationaux d'évaluation des variétés ne sont réalisés aux États-Unis que dans le but de mesurer les progrès dans la sélection du coton. Ce sont des efforts de coopération entre l'ARS, les stations expérimentales des états et les sociétés de sélection des semences. L'ARS a la responsabilité du rassemblement des données concernant les rendements et les fibres et de leur publication annuelle. Dans ces essais, la teneur en gossypol et en huile des graines est également mesurée. Les données publiées concernent le rendement, la taille de la graine, le pourcentage de fibres, la taille de la graine, la teneur en gossypol et en huile de la graine, la longueur, la résistance, l'indice micronaire, l'allongement et l'uniformité de la fibre. Toutes les mesures des fibres sont effectuées chaque année dans la même installation (Starlab à Knoxville, Tennessee). L'ARS finance la mensuration des fibres et la publication et la diffusion des données.

## Références

- ANONYME (1987), *The National Collection of Gossypium Germplasm*, Southern Cooperative Series Bulletin, n° 321.
- Congress of the United States of America (1970), *Plant Variety Protection Act*, Public Law 91-577,
- CREECH, R.G. (1980), «Executive summary report federal seed programme review», ministère de l'Agriculture des États-Unis, Washington DC. On peut en obtenir des exemplaires auprès de Roy G. Creech, Department of Agronomy, Mississippi State University, Box 5248, Mississippi State, Minnesota 39762.
- DICKIE, J.B., S. LININGTON, et J.T. WILLIAMS dir. pub. (1982), *Seed Management Techniques for Genebanks*, Proceedings of Workshop, Royal Botanic Gardens, Kew, Royaume-Uni, International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italie.
- Experiment Station Committee on Policy (1972), Seed Policy Subcommittee.
- FRYXELL, P.A. (1979), *The Natural History of the Cotton Tribe*. Texas A & M University Press, College Station, TX, et Londres, Royaume-Uni.
- Joint Federal, State, Industry Committee (1978), *Guidelines for Classifying Cultivated Plant Populations*. Des exemplaires sont disponibles auprès de Roy G. Creech, Department of Agronomy, Mississippi State University, P.O. Box 5248, Mississippi State, Mississippi 39762.
- Mississippi Seed Improvement Association (1989), *Handbook of Seed Certification Regulations*, Mississippi State.
- KOHEL, R.J. et C.F. LEWIS, dir. pub. (1984), *Cotton*, Agronomy Monograph, n° 24, Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- MAUNEY, J.R. et J.McD. STEWART, dir. pub. (1986), *Cotton Physiology*, The Cotton Foundation Reference Book Series, The Cotton Foundation, Memphis, Tennessee.
- Ministère de l'Agriculture des États-Unis (1961), *Seeds, the Yearbook of Agriculture*, Washington DC 20250.
- Ministère de l'Agriculture des États-Unis, Agricultural Marketing Service (1975), *Federal Seed Act*. On peut obtenir des exemplaires auprès de la Seed Branch, Agricultural Marketing Service, USDA, Washington, DC 20250.
- Ministère de l'Agriculture des États-Unis, Agricultural Marketing Service (1976), Part 201 – *Federal Seed Act Regulations. Certified Seed Regulations*. On peut obtenir des exemplaires auprès de la Seed Branch, Agricultural Marketing Service, USDA, Washington, DC 20250.
- Ministère de l'Agriculture des États-Unis, Agricultural Marketing Service (1976), Part 202 – *Federal Seed Act Regulations. Interstate Commerce, Foreign Commerce and General Regulations*. On peut obtenir des exemplaires auprès de la Seed Branch, Agricultural Marketing Service, USDA, Washington, DC 20250.
- Ministère de l'Agriculture des États-Unis (1990), *Regional Cotton Variety Tests*, Agricultural Research Service, Cotton Physiology and Genetics Unit, Stoneville, Minnesota.

Ministère de l'Agriculture des États-Unis (1991), *Agricultural Statistics*. Government Printing Office, Washington, DC.

*Report of the 1982 Plant Breeding Forum* (1982), Des Moines, Iowa. On peut obtenir des exemplaires auprès de Pioneer Hi-Bred International, Inc., 6800 Pioneer Parkway, Johnston, Iowa 50131.

*Report of the 1983 Plant Breeding Forum* (1983), «Conservation and utilisation of exotic germplasm to improve varieties», Des Moines, Iowa. On peut obtenir des exemplaires auprès de Pioneer Hi-Bred International, Inc., 6800 Pioneer Parkway, Johnston, Iowa 50131.

*Report of the 1984 Plant Breeding Forum* (1984), «The role of biotechnology in plant breeding», Des Moines, Iowa. On peut obtenir des exemplaires auprès de Pioneer Hi-Bred International, Inc., 6800 Pioneer Parkway, Johnston, Iowa 50131.

State Seed Law of Mississippi (1969), Mississippi Law Code.

## 6. Le tabac

*par*

René Delon

### A. Caractéristiques de la plante

#### a) *Origines géographiques*

Le genre *Nicotiana*, auquel appartiennent tous les tabacs cultivés, fait partie de la famille des solanacées. On en recense 66 espèces (tableau 6.1) principalement originaires d'Amérique du Sud et d'Australie. Une seule espèce, *N. africana*, a été découverte en Afrique (Namibie) par Merckmüller et Butler en 1975.

La plupart des tabacs cultivés industriellement dans le monde appartiennent à l'espèce polymorphe *N. tabacum*, qui compte 24 paires de chromosomes. On admet actuellement que cette espèce dérive par amphidiploïdie du croisement entre *N. sylvestris* ( $n = 12$ ) et *N. tomentosiformis* ( $n = 12$ ).

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

Le tabac est originaire des pays chauds, mais il est susceptible de prospérer dans des sols et sous des climats divers. Son aire de culture est très étendue. La production mondiale en divers types de tabac, tels que Virginie, Burley, Orient et Brun, est en croissance lente mais assez constante (figure 6.1) et se situe autour de sept millions de tonnes. L'Asie et l'Amérique fournissent ensemble plus des trois quarts du tabac produit dans le monde. Parmi les principaux pays producteurs, il y a la Chine, les États-Unis, l'Inde, le Brésil, la Turquie, l'ex-URSS, le Zimbabwe et le Malawi. Dans la CEE, l'Italie et la Grèce sont les plus importants pays producteurs (figure 6.2),

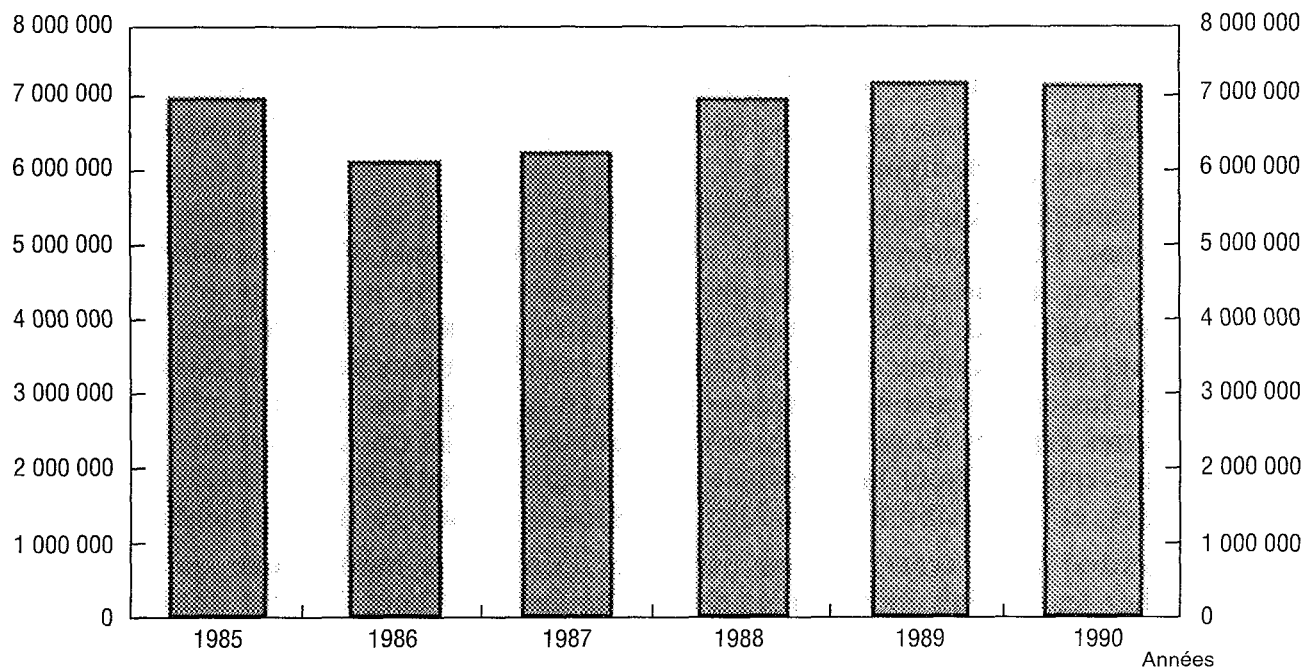
#### c) *Position taxonomique*

C'est T.H. Goodspeed (1954) qui a revu le plus récemment la classification du genre *Nicotiana* subdivisé en trois sous-genres : *Rustica*, *Tabacum* et *Petunioides*, 14 sections et 60 espèces. Depuis cette date, les révisions ou découvertes de Burbidge (1960), Merckmüller et Butler (1975) et Ohashi (1976) ont amené le nombre des espèces à 66 (tableau 6.1).

Tableau 6.1. Classification du genre *Nicotiana*

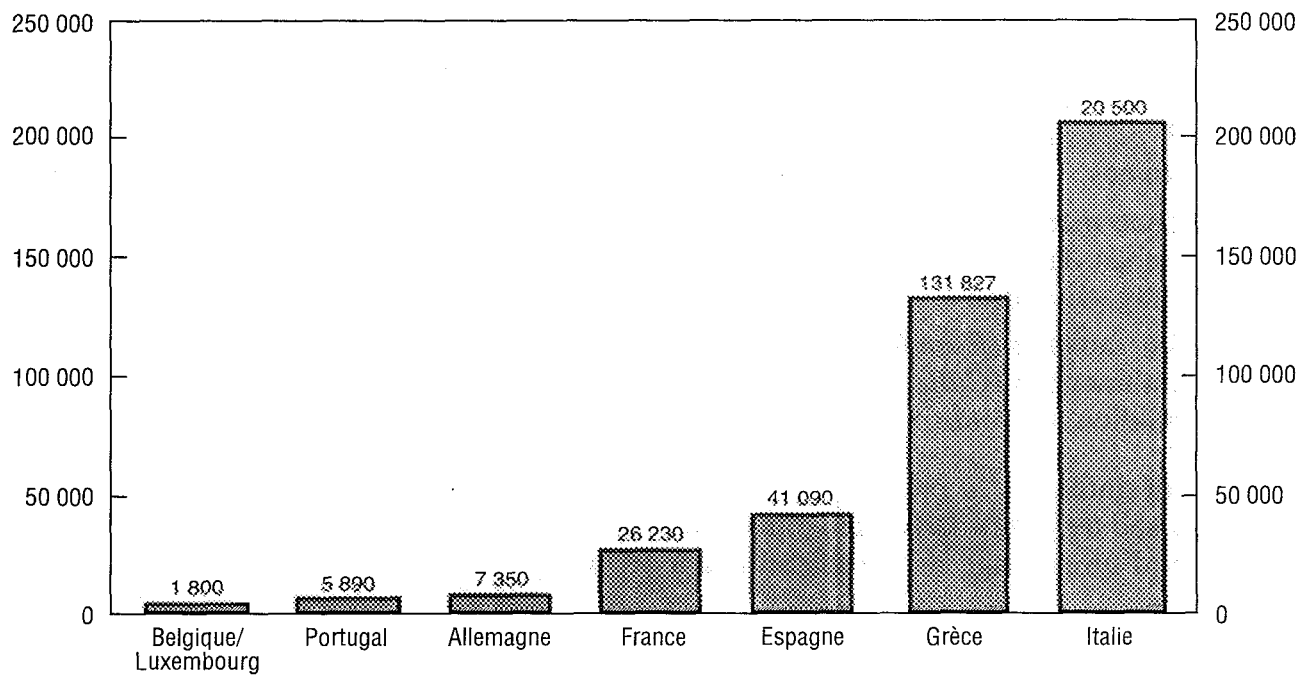
Sous-genre	Section	Espèce	Auteur	Nb. chromoso- mique (2n)			
<i>Rustica</i>	Paniculatae	<i>glauca</i>	Graham	24			
		<i>paniculata</i>	Linnaeus	24			
		<i>knightiana</i>	Goodspeed	24			
		<i>solanifolia</i>	Walpers	24			
		<i>benavidesii</i>	Goodspeed	24			
		<i>cordifolia</i>	Philippe	24			
		<i>raimondii</i>	Macbride	24			
		<i>thyrsoflora</i>	Bitter ex Goodspeed	24			
		Thyrsoflorae	Rusticae	<i>rustica</i>	Linnaeus	48	
				<i>tomentosa</i>	Ruiz et Pavon	24	
<i>Tabacum</i>	Tomentosae	<i>tomentosiformis</i>	Goodspeed	24			
		<i>otophora</i>	Grisebach	24			
		<i>kawakamii</i>	Ohashi	24			
		<i>setchellii</i>	Goodspeed	24			
		<i>glutinosa</i>	Linnaeus	24			
		<i>tabacum</i>	Linnaeus	48			
		<i>Petunioides</i>	Genuinae	Undulatae	<i>undulata</i>	Ruiz et Pavon	24
					<i>arensii</i>	Goodspeed	48
			Trigonophyllae	Alatae	<i>wigandiioides</i>	Koch et Fintelman	24
					<i>trigonophylla</i>	Donal	24
<i>sylvestris</i>	Spegazzini et Comes				24		
<i>langsdorffii</i>	Weinmann				18		
<i>alata</i>	Link et Otto				18		
<i>forgetiana</i>	Hort ex Hemsley				18		
<i>bonariensis</i>	Lehmann				18		
<i>longiflora</i>	Cavanilles				20		
<i>plumbaginifolia</i>	Viviani	20					
<i>repanda</i>	Willdenow ex Lehmann	48					
Repandae	Noctiflorae	<i>stocktonii</i>	Brandege	48			
		<i>nesophila</i>	Johnston	48			
		<i>noctiflora</i>	Hooker	24			
		<i>petunioides</i>	(Griseback) Millan	24			
		<i>acaulis</i>	Spegazzini	24			
		<i>ameghinoi</i>	Spegazzini	?			
		Acuminatae	Acuminatae	<i>acuminata</i>	(Graham) Hooker	24	
				<i>pauciflora</i>	Remy	24	
				<i>attenuata</i>	Torrey ex Watson	24	
				<i>longibracteata</i>	Philippi	?	
<i>miersii</i>	Remy			24			
<i>corymbosa</i>	Remy			24			
<i>linearis</i>	Philippi			24			
<i>spgazzinii</i>	Milan			24			
<i>bigelovii</i>	(Torrey) Watson			48			
<i>clevelandii</i>	Gray			48			
<i>Petunioides</i>	Bigelovianae	<i>nudicaulis</i>	Watson	48			
		<i>benthamiana</i>	Domin	38			
		<i>umbratica</i>	Burbidge	46			
		<i>cavicola</i>	Burbidge	40			
		<i>debneyi</i>	Domin	48			
		<i>gossei</i>	Domin	36			
		<i>amplexicaulis</i>	Burbidge	36			
		<i>maritima</i>	Wheeler	32			
		<i>velutina</i>	Wheeler	32			
		<i>hesperis</i>	Burbidge	42			
Nudicaules	Suaveolentes	<i>occidentalis</i>	Wheeler	42			
		<i>simulans</i>	Burbidge	40			
		<i>megalosiphon</i>	Heurck et Mueller	40			
		<i>rotundifolia</i>	Lindley	44			
		<i>excelsior</i>	Black	38			
		<i>suaveolens</i>	Lehmann	32			
		<i>ingulba</i>	Black	40			
		<i>exigua</i>	Wheeler	32			
		<i>goodspeedii</i>	Wheeler	40			
		<i>rosulata</i>	(S. Moore) Domin	40			
Suaveolentes	Suaveolentes	<i>fragans</i>	Hooker	48			
		<i>africana</i>	Merx et Butler	24			

Figure 6.1. **Production mondiale de tabac**  
(en tonnes)



Source : TJI n° 3, 1991.

Figure 6.2. **Production tabacole de la CEE, 1990**  
(en tonnes)



Source : TJI n° 3, 1991.

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

Chez les *Nicotiana* le nombre de chromosomes le plus fréquent dans les cellules somatiques varie de 24 à 48, mais on rencontre aussi 18, 20, 32, 36, 38, 40 et 46.

L'affinité interspécifique a été étudiée par de nombreux auteurs dont Goodspeed (1954) et Gisquet et Hitier (1961) qui ont observé, selon les appariements chromosomiques, tous les cas de figure possibles, de l'incompatibilité totale entre les deux espèces à l'obtention d'une plante hybride.

Deux caractéristiques du genre *Nicotiana* ont favorisé les nombreuses recherches cytogénétiques. La première est que *N. tabacum* est une plante d'origine allopolyploïde. A cause de son importance économique, des études ont été menées pour élucider les relations phylogéniques avec les espèces parentales possibles. D'autre part, des études caryologiques sur le nombre de chromosomes et sur l'appariement des chromosomes à la méiose dans les combinaisons hybrides ont mis en évidence les relations phylogéniques entre les autres espèces du genre. La seconde caractéristique est la possibilité de transférer des gènes qui confèrent la résistance aux maladies et aux insectes ou des propriétés biochimiques, et la possibilité de prédire les chances de succès de tels transferts.

La stérilité mâle (cms) est un caractère d'origine cytoplasmique qui peut être transmis chez les variétés industrielles de *N. tabacum*. Elle peut faciliter, entre autres, la production des hybrides F<sub>1</sub> en évitant la castration (Delon, 1986). Selon l'espèce utilisée comme donneur de cytoplasme, on distingue différents types de stérilité mâle. Dans le cas de *N. suaveolens* ou *N. megalosiphon* la cms se traduit par une féminisation des anthères (stigmatoïdes); *N. undulata* entraîne par contre la formation d'anthères pétaloïdes et d'une corolle laissant dépasser le stigmate. Une revue bibliographique complète sur la stérilité mâle cytoplasmique a été réalisée par Gerstel (1980).

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

Les échanges de tabacs peuvent s'effectuer sous forme de plantes ou de graines. Si au niveau des plantes les risques de transmission de parasites ou de maladies – mildiou (*P. tabacina*), oïdium (*E. cichoracearum*), pourriture noire des racines (*C. elegans*), black shank (*P. parasitica*, var. *nicotiana*) – sont très importants, ils sont presque nuls dans le cas de graines.

Aucune méthode de quarantaine n'est appliquée d'une manière générale pour introduire le tabac dans un pays sous forme de graines. Néanmoins, il est souvent conseillé dans les cas suivants :

- feu sauvage (*Pseudomonas tabaci*);
- anthracnose (*Colletotrichum tabacum*);
- mildiou (*Peronospora tabacina*)<sup>1</sup>.

La désinfection la plus couramment employée consiste en un trempage des graines (dans un sac de gaze) dans une solution de nitrate d'argent à 0.1 pour cent pendant 10 à 15 mn et d'un séchage à l'air chaud (30 à 50 °C) pendant 24 heures.

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

Parmi les nicotianées, l'espèce *N. tabacum*, et ses très nombreuses variétés, est la plus connue et la plus cultivée dans le monde. Le tabac est consommé comme produit à

fumer sous forme de cigarettes ou de cigares, produit à chiquer ou encore comme produit à priser. On regroupe les tabacs cultivés en cinq grandes familles selon leur mode de culture, de séchage et traitement après récolte. Ces familles sont généralement désignées d'un nom anglais :

- Les tabacs « flue-cured » : tabacs clairs séchés à l'air chaud, du type Virginie ;
- Les tabacs « light air-cured » : tabacs clairs séchés à l'air naturel, du type Burley ;
- Les tabacs « sun-cured » : tabacs clairs séchés au soleil, du type Orient ;
- Les tabacs « dark air-cured » : tabacs bruns séchés à l'air naturel (du type français ou pour cigares) ;
- Les tabacs « fire-cured » : tabacs bruns séchés au feu, du type Kentucky.

*N. rustica* comprend également de nombreuses variétés très riches en alcaloïdes, mais leur culture, limitée à l'Afrique du Nord, l'Europe de l'Est, le Pakistan, etc., est en régression.

Parmi les autres espèces, et notamment celles du sous-genre *Petunioides*, certaines sont cultivées pour leur caractère ornemental.

Le tabac peut être également utilisé comme source de nicotine et employé comme insecticide. D'autre part, les propriétés originales des protéines de tabac, et en particulier de la fraction I protéique (Rubisco), pourraient relancer l'intérêt des protéines foliaires en alimentation animale ou humaine.

Le tabac peut représenter, après extraction, une source de production naturelle pour diverses substances chimiques comme l'acide malique, l'acide citrique, le solanésol, des huiles essentielles, etc. (Tso, 1990).

Enfin, le tabac est aussi très utile, en tant que plante modèle, dans tous les laboratoires de biologie cellulaire et moléculaire.

## Mécanismes de reproduction

### a) Modes de reproduction

La fleur de tabac est hermaphrodite, généralement complète, presque toujours plus ou moins zygomorphe. L'androcée est constituée de cinq étamines libres de longueur inégale en général. La déhiscence des anthères peut être antérieure (*N. rustica*) ou postérieure à l'ouverture de la corolle. Le pistil comprend deux carpelles soudés formant généralement deux loges. Le style est inséré au sommet de l'ovaire et se termine par un stigmate de forme variable.

### b) Vivace ou annuelle ?

La plupart des espèces de *Nicotiana* sont annuelles. Certaines espèces, comme *N. glauca* et *N. tomentosa* et quelques variétés de *N. tabacum* fleurissent rarement la première année, ou à une époque trop tardive pour donner des graines, sauf dans les régions où les plantes ne sont pas détruites par le gel. Ces nicotianées ne peuvent survivre et se reproduire que dans des serres.



### c) *Mode de pollinisation*

Le tabac est considéré comme une plante autogame. C'est le cas pour *N. rustica* où la fleur ne s'ouvre qu'après la pollinisation. Chez *N. tabacum*, si on veut pratiquer l'autofécondation, il est préférable de protéger les inflorescences par un sac protecteur. Parmi les agents de pollinisation croisée, le vent ne porterait pas le pollen à plus de 20 m. Les insectes, en particulier les abeilles, les bourdons et certains lépidoptères, jouent un rôle plus important, le nectar de la fleur de tabac étant très abondant. Dans le cas des fleurs mâles-stériles, la pollinisation manuelle est obligatoire.

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

Dans les zones de culture où le gel est la règle pendant la période hivernale, le tabac ne peut survivre que sous forme de graines : les parties herbacées sont détruites par le gel.

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

Le tabac industriel (*N. tabacum*) ne peut s'hybrider spontanément avec aucune autre espèce d'un genre autre que *Nicotiana*. Même à l'intérieur du genre *Nicotiana*, les hybridations interspécifiques spontanées sont extrêmement rares.

## **Toxicologie**

Relativement peu de recherches ont été effectuées pour modifier la teneur d'un constituant chimique des feuilles de tabac, si ce n'est pour la nicotine, l'alcaloïde principal du tabac, qui a fait l'objet de nombreuses études. La raison est simple : lequel des 3 500 constituants présents chez le tabac le généticien doit-il augmenter ou diminuer ? Pour la nicotine, des tabacs produisant moins de 0.1 pour cent de nicotine dans la matière sèche ont été obtenus (Schiltz *et al.*, 1983), alors qu'une variété traditionnelle a une teneur de 2 à 3 pour cent. Des efforts ont également été faits pour réduire le rendement en goudrons résultant de la combustion des tabacs, mais la variabilité de ce caractère est faible.

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

### a) *Restrictions climatiques à une plus grande extension géographique de la culture*

On admet que les limites géographiques de la culture du tabac se situent entre la latitude 60° Nord et 40° Sud, en notant cependant que la plupart des pays producteurs se situent entre les latitudes 45° N et 30° S. Le tabac est plutôt une plante de pays tropical, mais qui peut se développer sous des climats plus tempérés. Dans ces régions, la durée de végétation varie de 100 à 120 jours. Cette durée peut être ramenée à 80-90 jours avec une température moyenne de 27 °C, qui est proche de l'optimum. L'amélioration variétale tend surtout à augmenter la capacité du tabac à mieux démarrer lors de la transplantation dans les terres froides et humides que l'on trouve dans les zones tempérées au printemps.

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

### **a) Description des principales méthodes et techniques de sélection**

#### *i) La conservation des ressources génétiques*

Toutes les variétés de *N. tabacum* et *N. rustica* sont maintenues en collection par autofécondation naturelle sous sac. Les types de jours courts sont reproduits en serre. Pour certaines espèces, une autofécondation manuelle peut être nécessaire.

#### *ii) La sélection*

La sélection créatrice chez *N. tabacum* repose sur l'hybridation intervariétale et l'isolement d'une lignée pure par autofécondation en suivant une sélection généalogique ou pédigrée.

Les méthodes de croisements en retour et de sélection récurrente sont également applicables au tabac.

De plus, l'androgenèse, comme l'obtention d'haploïdes maternels (par hybridation avec *N. africana*), permettent de réduire le temps d'obtention d'une lignée stable et homogène.

Des hybrides somatiques ont été obtenus à partir de diverses espèces du genre *Nicotiana* et c'est avec *N. tabacum* que les premiers transferts de gènes étrangers ont été réalisés. Ils permettent d'espérer voir se développer rapidement des variétés de tabac industriel résistantes à des herbicides spécifiques (phosphinotricine, bromoxynil).

#### *iii) La création variétale*

*Étape 1.* La première évaluation a lieu à l'Institut du tabac de Bergerac sur des lignées en F<sub>4</sub> à F<sub>6</sub>. Chaque variété est répétée quatre fois sur des parcelles élémentaires de 250 à 300 pieds suivant un dispositif statistique de blocs complets. Le rendement en poids, et une première évaluation des caractéristiques agronomiques et physico-chimiques de la matière première incluant la dégustation est réalisée.

*Étape 2.* Lors des générations suivantes, des essais du même type sont réalisés dans des sites régionaux (sud-ouest, sud-est, ouest et nord-est de la France).

*Étape 3.* Enfin, des cultures semi-industrielles de 5 à 10 ha permettent d'avoir un avis définitif sur l'intérêt des nouvelles variétés avant une éventuelle mise sur le marché.

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

Les principaux objectifs de l'amélioration variétale résultent de différentes contraintes imposées d'une part, par les producteurs, qui recherchent le rendement en poids, la résistance aux maladies, une morphologie adaptée à la cueillette, et l'aptitude au séchage; et d'une autre part, par les industriels et les consommateurs qui recherchent la teneur en alcaloïdes (nicotine, nor nicotine), le rendement en goudrons, les propriétés aromatiques, le pouvoir de remplissage, etc.

En ce qui concerne les maladies (fongiques, bactériennes ou virales), différentes sources de résistance sont disponibles dans le genre *Nicotiana* et ont pu être transférées avec succès (tableau 6.2).

Tableau 6.2. Principales sources de résistance utilisées pour l'amélioration variétale

Maladie et agent pathogène	Espèces sources									
	<i>N. tabacum</i>	<i>N. debneyi</i>	<i>N. excelsior</i>	<i>N. glutinosa</i>	<i>N. goodspeedii</i>	<i>N. megalosiphon</i>	<i>N. suaveolens</i>	<i>N. alata</i>	<i>N. longiflora</i>	<i>N. plumbaginifolia</i>
Feu sauvage <i>Pseudomonas tabaci</i>						×				
Mildiou <i>Peronospora tabacina</i>		×	×		×		×			
Oidium <i>Erysiphe cichoracearum</i>	×	×		×						
Pourriture noire des racines <i>Thielaviopsis basicola</i> = <i>Chalara elyngans</i>										
Black shank <i>Phytophthora parasitica</i>	×								×	×
Virose TMV PVY TSWV				×						
										×

Dans le cas d'une propriété chimique comme la teneur en nicotine, pour laquelle deux gènes majeurs sont impliqués, il a été possible d'obtenir des variétés ayant de 0.1 à 5 pour cent de nicotine dans la matière sèche. Quant à la nornicotine dérivant de la nicotine par déméthylation, processus également gouverné par deux gènes majeurs, elle peut être totalement éliminée des tabacs par une sélection adéquate. D'autres propriétés chimiques – comme le rendement en goudrons, les précurseurs aromatiques, la teneur et composition en polyphénols – peuvent être modifiées par sélection.

### *c) Test des principaux objectifs de sélection*

Pour évaluer de façon précoce les lignées en cours de sélection, plusieurs méthodes sont à la disposition du sélectionneur :

1. Le test cotylédons (Schiltz et Coussirat, 1969). Cette méthode permet de révéler les propriétés des jeunes plantes au stade cotylédonnaire (10 à 25 jours) dans des conditions définies de lumière, température et nutrition.
2. Le test feuilles (Schiltz et Genève, 1968) qui consiste à étudier le système racinaire néoformé sur le pétiole de feuilles isolées, prélevées sur des plantes produites en serre. Ce test permet d'évaluer le développement du système racinaire contaminé ou non par un parasite et de déterminer la multiplication du parasite et par conséquent d'apprécier le comportement du tabac *vis-à-vis* du parasite.
3. Les tests en serres ou en salles climatisées. Pour certaines maladies – pourriture noire des racines, black shank, viroses (PVY, VMT) – des évaluations peuvent être réalisées par culture en minimottes en serre ou salle climatisée adaptées à l'étude des parasites fongiques ou viraux.
4. L'expérimentation en plein champ. L'épreuve finale reste la validation au champ. Pour les maladies (mildiou, oïdium), le choix des parcelles est particulièrement important pour espérer une inoculation naturelle. L'évaluation du niveau de résistance s'effectue en utilisant des grilles de cotations des dégâts comme celles du CORESTA pour le mildiou ou l'oïdium.

### *d) Évaluation du comportement d'ensemble du matériel de sélection*

L'évaluation globale des variétés est réalisée en plein champ, par culture de parcelles de 250 à 300 pieds, répétées quatre fois selon un dispositif en blocs complets.

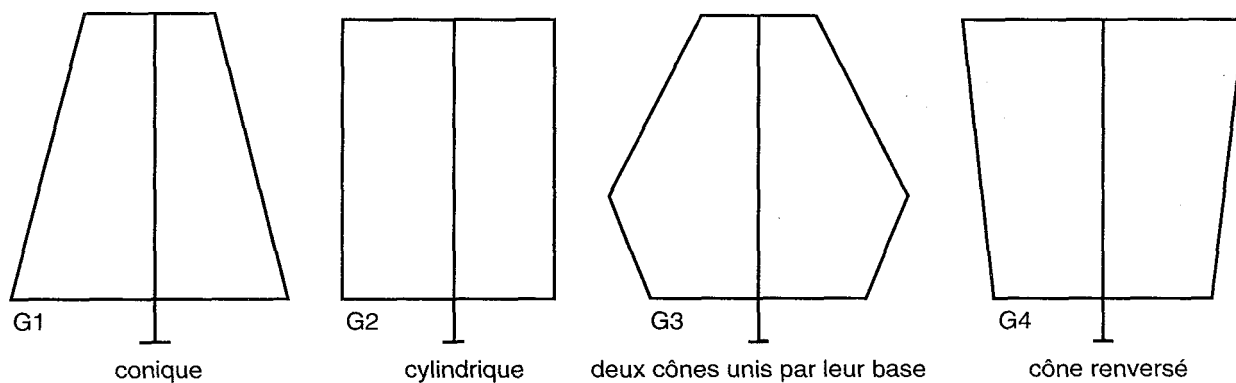
Au champ, on apprécie la morphologie (gabarit, feuilles, insertion, forme, nombre; voir figure 6.3), l'aptitude à former des bourgeons, la date de floraison.

Après récolte et séchage, on détermine le rendement en poids, l'indice qualité (ou cote expertise), ainsi qu'un certain nombre de caractéristiques. Certaines sont physiques, telles que l'indice de foisonnement, la combustibilité; d'autres sont chimiques, telles que les alcaloïdes totaux (nicotine, nornicotine), azote total, sucres réducteurs (Virginie), nitrate (Burley), rendement en goudrons par fumage mécanique.

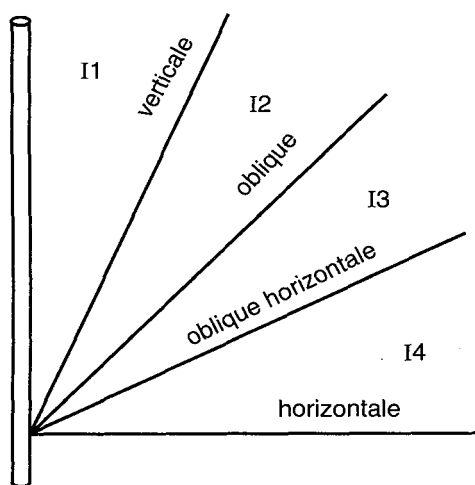
La dégustation par un panel d'experts est l'épreuve finale permettant d'apprécier l'intérêt ou non d'une nouvelle variété.

Figure 6.3. **Caractères morphologiques de la plante**

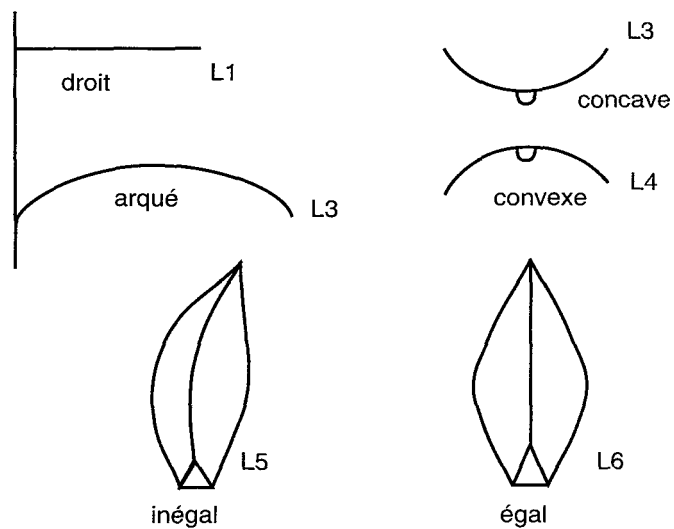
**Gabarit de la plante**



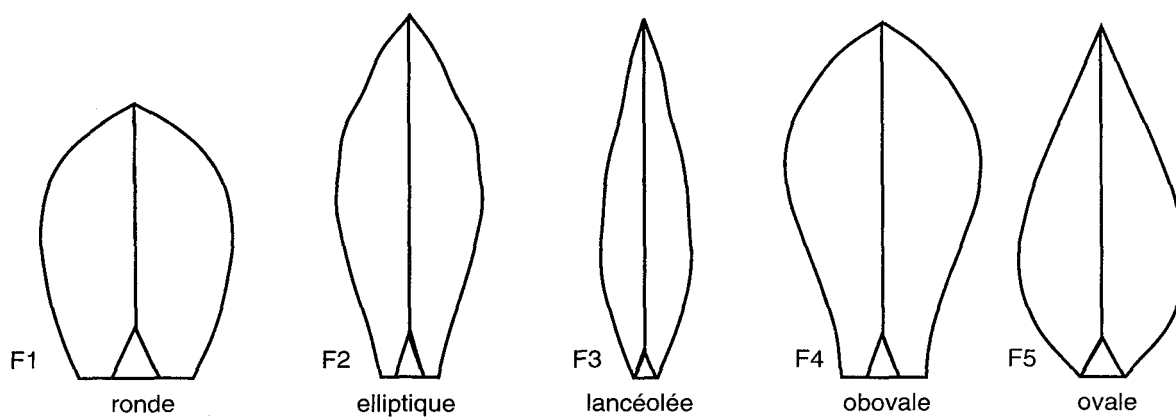
**Insertion des feuilles sur la tige**



**Limbe**



**Forme de la feuille**



La pointe de la feuille : très effilée, effilée, peu effilée, arrondie.

La base du limbe : sessile, pétiolée, étroite, avec auriculation, décurrente.

## C. Multiplication des semences à usage commercial

### a) Étapes de la production

Avec un taux moyen de multiplication de 150 000, la production de graines de tabac ne nécessite pas de surfaces importantes et une seule génération (ou multiplication) suffit pour passer de la semence de base à la graine commerciale.

Cette multiplication est réalisée en France, soit directement par l'Institut du tabac de Bergerac (ITB), soit par des planteurs ayant une bonne technicité et des parcelles isolées de la production de tabac industriel.

### b) Pratiques d'isolement

Dans le cas des variétés fertiles, la parcelle semencière doit être située à au moins 400 m de toute autre culture de tabac, sauf dans le cas où les porte-graines sont protégés par ensachage et les cultures voisines sont empêchées de fleurir par écimage.

Pour les hybrides F<sub>1</sub> mâles-stériles, les parcelles mâles-stériles n'ont besoin d'être séparés des lignées fertiles que de 50 m.

### c) Rôle de la certification et enregistrement des semences

En France, il n'existe pas encore de catalogue officiel pour le tabac, néanmoins cette production est très organisée et l'Institut du tabac de Bergerac procède à des contrôles

Tableau 6.3. Répartition variétale des cultures de tabac en France  
(estimation en pourcentage)

Variété	1987	1988	1989
Tabacs bruns	9 612 ha	8 517 ha	7 573 ha
<i>dont</i> :			
• PB D6	86	84	92
• Paraguay	6	5	3
• ITB 19	2	2	1.6
• Nijkerk	2	1.5	1.6
• Dragon vert	1	0.7	1.0
• GDH	3	6.8	0.4
• Divers	—	—	0.4
Burley	1 353 ha	1 139 ha	1 190 ha
<i>dont</i> :			
• BB 16	59	37.6	40
• BB 16 A	23	31.7	36
• B 217	15	30.7	24
Virginie	3 405 ha	3 013 ha	2 650 ha
<i>dont</i> :			
• Virgin D	97	89	85
• MN 944	2	10	11
• ITB 30	—	—	3
• K 326	—	—	1
• Autres	1	1	—

variétaux (identification variétale, pureté variétale, présence de maladies) ainsi que de la qualité des graines qui doivent avoir au minimum :

- pureté : 99 pour cent ;
- pouvoir germinatif : 80 pour cent.

Le pouvoir germinatif est déterminé sur  $2 \times 100$  graines, à 27 °C, à la lumière, sur papier buvard imbibé d'eau et en condition de saturation en humidité.

**d) *Durée de vie des variétés et diffusion commerciale***

Le renouvellement variétal est relativement lent. Certaines variétés comme Dragon vert, Paraguay, Nijkerk sont cultivées depuis 1870. Cependant, la profession tabacole suit régulièrement l'évolution des variétés du point de vue du rendement et de la qualité. Actuellement, une quinzaine de variétés différentes sont cultivées en France (tableau 6.3), la plus importante étant la variété de tabac brun PB D6, résistante au mildiou et mise en culture en 1968.

La reconversion variétale actuelle du brun vers les types Burley et Virginie voit le développement de nouvelles variétés, le plus souvent des hybrides F<sub>1</sub> MS, et dont certaines ont fait l'objet de dépôts de brevets (ITB 1000, ITB 2001, ITB 2201).

## **Note**

1. La transmission par les graines de *Peronospora tabacina* est très controversée. Cependant, sous l'égide du CORESTA (Centre de coopération pour les recherches scientifiques relatives au tabac, 53, quai d'Orsay, 75347 Paris Cedex 07, France), le transport de graines de pays où le mildiou est présent vers des pays indemnes de cette maladie est réglementé, et le traitement des graines est en général la précaution minimale.

## Références

- BAUDIN, P. et C. BAUDIN (1963), «Quarantaine de tabac en culture aseptique», *Agronomie tropicale*, n° 11, pp. 1199-1203.
- BURK, L.G. et J.F. CHAPLIN (1979), «Hybridization in *Nicotiana* : procedures for experimental use», *Technical Bulletin*, n° 1586, United States Department of Agriculture (USDA), pp. 23-27.
- CHAPLIN, J.F. et L.G. BURK (1979), «Plant propagation in *Nicotiana* : procedures for experimental use», *Technical Bulletin* n° 1586, United States Department of Agriculture (USDA), pp. 28-32.
- DELON, R. (1986a), «De la cytogénétique aux biotechnologies : plus de 50 ans d'expériences à la Seita», *Annales du Tabac*, numéro spécial, pp. 5-18.
- DELON, R. (1986b), «La stérilité mâle chez le tabac, son utilité pour la production d'hybrides F<sub>1</sub>», *Annales du Tabac*, numéro spécial, pp. 39-45.
- FLICK, C.E. et D.A. EVANS (1984), «Tobacco», in *Handbook of Plant Cell Culture*, Macmillan Publishing Company, New York, vol. 2, chapitre 21, pp. 606-630.
- GERSTEL, D.A. (1980), «Cytoplasmic male sterility in *Nicotiana* (a review)», *NCARS Technical Bulletin*, 263.
- GISQUET, P. et H. HITIER (1961), *La production du tabac*, J.B. Baillièrre et fils, Paris.
- GOODSPEED, T.H. (1954), *The Genus Nicotiana*, Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., États-Unis.
- MATZINGER, D.F. et E.A. WERNSMAN (1980), «Population improvement in self-pollinated crops», *Proceedings of the Second World Soybean Research Conference, 1979*, North Carolina State University, pp. 191-199.
- SCHILTZ, P. et GENÈVE, R. (1968), «“Le test feuilles” : une technique d'étude biologique des interactions en *T. basicola* et les *Nicotiana*», *Annales du Tabac*, n° 5, pp. 75-82.
- SCHILTZ, P. et J.C. COUSSIRAT (1969), «Mise en évidence de la résistance des Nicotianées aux lignées virulentes de *P. tabacina* et détermination du pouvoir pathogène du parasite», *Annales du Tabac*, n° 6, pp. 145-162.
- SCHILTZ, P., R. DELON et J.C. COUSSIRAT (1981), «L'amélioration variétale chez *Nicotiana tabacum*. I. Principe de de la sélection pratiquée à l'Institut de Bergerac», *Annales du Tabac*, n° 17, pp. 5-13.
- SCHILTZ, P., J.P. ALBO, J.C. COUSSIRAT, R. DELON et F. CAZAMAJOUR (1983), «La sélection des *N. tabacum* pour leur rendement en goudrons. II. Essai de création variétale en fonction du potentiel en goudrons et de la teneur en alcaloïdes», *Annales du Tabac*, n° 2, pp. 101-106.
- SCHILTZ, P., J.C. COUSSIRAT, F. CAZAMAJOUR, R. DELON, et J.P. ALBO, (1981), «L'amélioration variétale chez *Nicotiana tabacum*. II. Exemples de sélection simultanée chez des tabacs à vocation industrielle», *Annales du Tabac*, vol. 17, pp. 13-25.



- SCHILTZ, P., R. DELON et J.C. BARDON (1991), *Les nicotianées en collection à l'Institut du tabac*, ISSN 0399-0394.
- SMITH, H.H. (1979), «The genus as a genetic resource in *Nicotiana* : procedures for experimental use», *USDA Technical Bulletin*, n° 1586, pp. 1-16.
- TSO, T.C. (1990), *Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant*, Ideals, Inc., ISBN 1-878670018, 753 p.
- WERNSMAN, E.A. et D.F. MATZINGER (1980), «Tobacco», *Hybridization of Crop Plants*, American Society of Agronomy, pp. 657-668.

## 7. La tomate

*par*

Jacqueline Philouze et Louis Hedde

### A. Caractéristiques de la plante

#### a) *Origines géographiques ; centre de la diversification*

Les espèces sauvages de tomate (genre *Lycopersicon*, famille des solanacées) sont originaires de l'Amérique du Sud occidentale ; elles proviennent d'une zone allant du sud de la Colombie au nord du Chili et de la côte du Pacifique (en incluant les îles Galapagos) aux contreforts ouest des Andes, jusqu'à une altitude pouvant atteindre 3 400 m. pour certaines espèces. La forme sauvage de la tomate cultivée est *L. esculentum* var. *cerasiforme*, originaire de la même zone géographique. Contrairement aux huit autres espèces sauvages de tomate qui sont restées dans les limites de leur zone native, *L. esculentum* var. *cerasiforme* s'est largement installée dans toutes les zones tropicales et subtropicales d'Amérique, allant jusqu'au Texas et en Floride. Une hypothèse maintenant largement admise est que la domestication de la tomate aurait eu lieu au Mexique ; on ignore à quelle époque. La tomate a été introduite du Mexique en Espagne dans la première moitié du XVI<sup>e</sup> siècle, puis d'Espagne dans les autres pays d'Europe et les autres continents.

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

La tomate a longtemps été considérée avec suspicion, on la croyait toxique comme d'autres espèces de la famille des solanacées (par exemple, belladone, morelles) ; elle a longtemps été cultivée comme plante ornementale ou comme curiosité. Ces préjugés sont demeurés tenaces jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, puis on commença à la cultiver. Son importance s'accrut au XIX<sup>e</sup> puis au XX<sup>e</sup> siècle. La tomate est maintenant cultivée dans tous les pays, à toutes les latitudes, de l'équateur quasiment au cercle polaire. C'est aujourd'hui le légume le plus consommé dans le monde. La production mondiale augmente régulièrement d'année en année, elle est passée de 48 millions de tonnes en 1978 à 56 millions de tonnes en 1983, pour atteindre 64 millions de tonnes en 1988 (FAO, 1989). Le tableau 7.1 donne la production des dix premiers pays producteurs, ainsi que celle des six pays membres de la CEE ayant la production la plus élevée.

Tableau 7.1. **Production mondiale de tomates en 1988**  
(dix principaux pays producteurs)

Origine	Superficie (× 1 000 ha)	Rendement (t/ha)	Production totale (× 1 000 t)
Monde entier	2 669	24.0	63 988
États-Unis	166	50.0	8 301
URSS	400	18.0	7 200
Chine	341	16.1	5 474
Turquie	140	37.5	5 250
Égypte	172	29.1	5 000
Italie <sup>1</sup>	116	39.9	4 643
Espagne <sup>1</sup>	61	42.6	2 596
Brésil	62	38.4	2 378
Roumanie	75	30.7	2 300
Grèce <sup>1</sup>	35	54.6	1 929
Portugal <sup>1</sup>	16	53.1	865
France <sup>1</sup>	13	57.6	743
Pays-Bas <sup>1</sup>	2	239.1	550

1. L'un des six principaux pays producteurs de la CEE.

Source : FAO (1989).

### c) *Position taxonomique*

Le genre *Lycopersicon* ne compte que neuf espèces : la tomate cultivée *L. esculentum* (et sa forme sauvage *L. esculentum* var. *cerasiforme* à petits fruits avec laquelle la tomate se croise très bien), et huit espèces sauvages, toutes à petits fruits :

- *L. pimpinellifolium*, à fruits rouges
  - *L. cheesmanii*, à fruits oranges
  - *L. hirsutum*
  - *L. parviflorum*
  - *L. chmielewskii*
  - *L. chilense*
  - *L. peruvianum*
  - *L. pennellii*
- à fruits verts

Les relations phylogéniques entre ces espèces ne sont pas connues. L'hypothèse que *L. pimpinellifolium* soit un ancêtre de *L. esculentum* n'est maintenant plus acceptée. Ces deux espèces dériveraient d'ancêtres communs plus éloignés. Les études de biologie moléculaire devraient permettre d'élaborer des hypothèses mieux fondées au cours des prochaines années.

### d) *Caractéristiques génétiques et cytogénétiques*

La tomate cultivée, comme les autres espèces du genre *Lycopersicon*, est une espèce diploïde, avec  $2n = 24$  chromosomes.

L'argenture des feuilles de la tomate (ou « silvering ») est à hérédité cytoplasmique. On ne connaît pas d'autres caractères à hérédité cytoplasmique.

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

Des agents pathogènes, tels que le virus de la mosaïque du tabac, et des bactéries, *Corynebacterium michiganense*, *Pseudomonas tomato* et *Xanthomonas vesicatoria*, capables d'entraîner de très importants dégâts dans les cultures de tomate, sont transmissibles par les graines. Un traitement des graines à la chaleur sèche (24 h à 80 °C), ou mieux, un traitement des graines, humides ou sèches, à l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) assurent un nettoyage efficace.

D'autres maladies se sont développées en France, par exemple à la suite d'importations à partir de pays proches, de plants de tomate élevés en terreau contaminé. C'est le cas du *Fusarium* des racines (*Fusarium oxysporum radicum lycopersici*), qui a obligé plusieurs serristes du sud de la France à un renouvellement complet des variétés cultivées. Enfin, plusieurs parasites animaux (exemples : la mouche blanche des serres *Trialeurodes vaporariorum*, la mineuse des feuilles *Liriomyza* ssp.), ont connu une dissémination rapide, du fait d'introductions d'espèces légumières ou florales variées, et du développement des serres qui favorisent le maintien en hiver de ces parasites très préjudiciables. Dans le bassin méditerranéen, les parasites animaux les plus dangereux sont les vecteurs de maladies à virus tels que les pucerons [vecteurs du potato virus Y (PVY) et du cucumber mosaic virus (CMV)], le thrips *Frankliniella occidentalis* [vecteur du tomato spotted wilt virus (TSWV)] et la mouche blanche *Bemisia tabaci* [vecteur du tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)].

#### f) *Utilisations finales actuelles de la plante*

Les fruits de tomate sont destinés à la consommation en frais ou à la transformation. L'industrie de la conserve propose des produits très diversifiés : concentré, jus, ketchup, tomates pelées, concassées, poudre, etc.

### Mécanismes de reproduction

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

La tomate cultivée, comme les espèces sauvages de *Lycopersicon*, se reproduit par graines. On peut réaliser des boutures avec ce matériel végétal, mais ce mode de multiplication n'est pas utilisé dans la pratique : le coût en est plus élevé que la multiplication par graines et l'état sanitaire des boutures prélevées sur plantes adultes laisse souvent à désirer.

Chez la tomate cultivée *Lycopersicon esculentum*, le cône staminal enferme complètement le pistil ; le stigmate dirigé vers le sol est à l'intérieur des étamines. La déhiscence des étamines se fait par deux fentes longitudinales à l'intérieur du cône des étamines. Il y a coïncidence entre la libération du pollen et la réceptivité optimale du stigmate : la structure de la fleur assure une stricte autogamie.

## **b) Vivace ou annuelle**

La tomate cultivée est considérée comme une plante annuelle, car elle est sensible au gel. Les espèces sauvages sont des plantes herbacées, annuelles ou pérennes de courte durée dans leur zone d'origine. Elles aussi sont sensibles au gel.

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

Dans les pays tempérés, le taux de fécondation croisée est très faible, de l'ordre de quelques pour mille, en raison de la structure de la fleur et de l'absence de nectar; il y a peu d'insectes susceptibles de transporter le pollen.

Dans les pays tropicaux ou subtropicaux, deux phénomènes se superposent pour assurer un taux de pollinisation croisée (de l'ordre de quelques pour cent) qui peut poser quelques problèmes au sélectionneur : le style, dont la longueur est sensible aux conditions du milieu, peut dépasser le cône des étamines; la présence d'insectes très actifs assure la pollinisation croisée (par exemple *Exomalopsis* ssp. aux Antilles françaises). Il est alors prudent de mettre les inflorescences sous sachets cellophane pour assurer autofécondations ou hybridations contrôlées.

Les agriculteurs, et en particulier les serristes, cherchent à améliorer la mise à fruits des tomates. Pour cela, les inflorescences qui portent des fleurs épanouies sont soumises à un vibrage très court (de l'ordre de la seconde), de façon à favoriser la chute du pollen (en quantité insuffisante, ou peu enclin à tomber du fait d'une hygrométrie trop élevée). Ce travail est fait trois fois par semaine à l'aide d'un vibreur électrique. Depuis quelques années, ce travail est réalisé par des bourdons, *Bombus terrestris*, à la grande satisfaction des serristes, qui se procurent les ruchettes de *Bombus* auprès de sociétés spécialisées. La probabilité que quelques bourdons échappés d'une serre aillent visiter des champs de tomate se trouvant à proximité, bien que très faible, n'est pas complètement nulle.

Si certaines espèces sauvages de *Lycopersicon* sont fortement autogames, d'autres sont allogames, et, pour certaines d'entre elles, auto-incompatibles. L'allogamie est assurée par la présence d'insectes pollinisateurs dans la zone d'origine des tomates, et par la structure de la fleur dont le style dépasse très largement (parfois de 5 mm) le cône des étamines.

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

Les croisements interspécifiques ne réussissent qu'en utilisant *L. esculentum* comme femelle. Certains croisements sont réalisés sans aucune difficulté (avec *L. pimpinellifolium*, *L. cheesmanii*, *L. chmielewskii*, *L. parviflorum*, *L. hirsutum*, *L. pennellii*); ceux avec *L. peruvianum* et *L. chilense* sont beaucoup plus difficiles; en sélection, la culture d'embryons F<sub>1</sub> immatures permet de surmonter cette barrière.

Dans la nature, des croisements spontanés ne sont imaginables qu'avec *L. esculentum* var. *cerasiforme* dans les zones tropicales et subtropicales, et avec quelques espèces sauvages dans la zone d'origine du genre *Lycopersicon*.

## **Toxicologie**

Les fruits verts contiennent, en faible concentration, un alcaloïde, la tomatine, qui donne un goût amer, mais disparaît à maturité. Cependant les fruits de certaines tomates

proches de la forme sauvage (ex. tomates des Antilles) contiennent encore un peu de tomatine à maturité. Il est facile d'éliminer cet alcaloïde par sélection.

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

L'optimum de températures pour une tomate est compris entre 15 et 18 °C la nuit, et 20 et 25 °C le jour. La méiose pollinique est complètement perturbée à des températures supérieures à 33 °C ou inférieures à 7-10 °C (variable selon les variétés). La croissance de la plante est bloquée quand la température est inférieure à +10 °C.

La tomate est insensible à la photopériode. Cependant cette espèce est plutôt exigeante en lumière, notamment pour l'initiation florale. Les sélectionneurs d'Europe du Nord, en particulier des Pays-Bas, ont créé un matériel végétal adapté aux jours courts et peu lumineux, ce qui a permis de créer des variétés capables de produire sous serre tout au long de l'année, avec des rendements très élevés.

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

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

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

Les différents génotypes de *L. esculentum* sont maintenus par autofécondation. Pour les espèces sauvages, souvent allogames, voire auto-incompatibles, il faut cultiver une dizaine de plantes par échantillon; chaque plante, prise individuellement comme femelle, est pollinisée à la main par un mélange de pollen récolté sur l'ensemble des dix plantes, ceci afin de maintenir autant que possible la variabilité et l'hétérozygotie existant dans l'échantillon de départ.

#### *ii) La sélection*

Tous les variétés de tomate disponibles actuellement ont été développés en recourant aux hybridations contrôlées et aux choix des plantes les plus performantes dans les générations en disjonction. La sélection généalogique (pedigree method) est de loin la méthode la plus utilisée; elle est efficace pour fixer les caractères à déterminisme génétique simple, très nombreux chez la tomate, et permet l'élimination rapide des génotypes présentant des défauts, en particulier au niveau de l'aspect des fruits, qui rendraient la variété incultivable. La sélection par rétrocroisements (backcross method) a rendu de grands services, car chez la tomate de nombreux caractères très importants sont monogéniques. La sélection par filiation unipare (ou SSD : Single Seed Descent) est utilisée pour l'amélioration de caractères à faible héritabilité (c'est le cas de la teneur des fruits en matière sèche soluble). Enfin, la sélection récurrente, alternant générations d'intercroisements et d'autofécondations, permet de cumuler les gènes favorables pour tel ou tel caractère à déterminisme polygénique. Ces différentes méthodes se complètent et peuvent être utilisées alternativement dans un programme de sélection.

#### *iii) La création variétale*

Les meilleures lignées peuvent être multipliées et diffusées sous forme de variétés fixées et maintenues par autofécondation.

Cependant les variétés actuels sont de plus en plus fréquemment des hybrides  $F_1$ . De nombreux hybrides  $F_1$  sont testés, qui permettent d'évaluer l'aptitude à la combinaison, générale et spécifique, des lignées. Les graines des variétés-hybrides  $F_1$  sont obtenues manuellement, après castration des fleurs du parent femelle, et leur pollinisation par le pollen récolté sur les plantes choisies comme mâles.

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

Les principaux objectifs de la sélection concernent l'adaptation à différents milieux et modes de culture, la qualité des fruits, et la résistance aux parasites. Les espèces sauvages de *Lycopersicon* se sont révélées dans tous ces domaines extrêmement intéressantes pour les sélectionneurs. Rick (1986) fait très bien le point sur ce sujet.

Il s'agit de créer des variétés adaptées aux différents types de culture : au champ, en culture tuteurée ou en culture non tuteurée (et dans ce dernier cas avec une récolte unique ou des récoltes échelonnées) ou bien sous abris. Les abris peuvent être en plastique ou en verre, chauffés ou non chauffés, avec culture en sol ou en hors-sol.

La sélection de variétés adaptées aux différentes conditions de culture (serre chauffée, serre antigel, serre froide, plein champ tuteuré ou bush) et aux différentes dates de semis, nécessite naturellement des lieux appropriés de sélection. L'activité du sélectionneur se situe par conséquent sur de nombreuses stations installées dans différents pays présentant les conditions climatiques les plus proches des zones de culture finalement visées. Le matériel génétique en sélection se trouve donc souvent dispersé dans des zones géographiques très variées. La connaissance du comportement et de la réaction de ce matériel soumis à des conditions très variées d'environnement est la condition qui permet de garantir le succès des nouvelles obtentions.

On recherche des variétés adaptées à des conditions climatiques et pédologiques extrêmement variées, en particulier à des conditions représentant des facteurs limitants pour les cultures actuelles. Des travaux hollandais ont permis de cultiver des tomates toute l'année sous serre, grâce à la sélection de variétés adaptées aux jours courts et peu lumineux. Des travaux sont entrepris dans plusieurs pays pour l'adaptation aux températures extrêmes, élevées ou basses. Les écotypes poussant en altitude de l'espèce sauvage *L. hirsutum* sont des géniteurs particulièrement intéressants pour la résistance aux basses températures (germination des graines, croissance, nouaison). L'espèce *L. cheesmanii* est très utilisée comme géniteur pour la tolérance à la salinité.

Pour le marché de frais, outre les aspects concernant la présentation (couleur, forme, calibre), des travaux sont entrepris pour améliorer la fermeté et la durée de conservation des fruits. Les caractères de grande fermeté et de longue conservation du fruit sont de plus en plus exigés pour les variétés destinées au transport à longue distance. De telles variétés existent actuellement sur le marché. La génétique du caractère de longue conservation est complexe et paraît polygénique semi-dominante. Certaines variétés hybrides possèdent en complément des gènes simples de non-maturation (*rin* = ripening inhibitor ou *nor* = non-ripening) qui permettent aux hybrides hétérozygotes pour ces gènes de présenter un caractère de maturation retardée. L'incidence de ces gènes sur les qualités gustatives paraît malheureusement peu favorable.

La sélection pour de plus hautes teneurs en vitamines (vitamine C, bêta-carotène) est possible, ainsi que l'amélioration des qualités gustatives. Encore faut-il que ce travail d'amélioration soit rentable économiquement et que les nouveaux produits ainsi proposés

soient payés par le négoce et les consommateurs à un prix qui compense la perte probable de rendement/ha. Les seuls exemples actuellement commercialisés sont les tomates cerise, marché très limité, et les tomates d'industrie à haute teneur en matière sèche : dans ce cas la notion de rendement en tonnes/ha commence à faire place à la notion de rendement en matière sèche/ha.

La tomate étant cultivée dans des milieux très divers, et parfois dans des conditions limites pour son développement, le nombre d'agents pathogènes qui l'affectent est très élevé. Ce sont près de 200 maladies qui ont été décrites au plan mondial. Les espèces sauvages se sont montrées une source extrêmement intéressante pour la résistance aux parasites : en fait, actuellement, toutes les résistances utilisées chez la tomate cultivée ont été trouvées chez les espèces sauvages. Les résistances trouvées chez les espèces sauvages et actuellement utilisées en sélection sont données dans le tableau 7.2.

### *c) Tests des résultats de la sélection*

Des tests en chambre climatisée sont conduits pour la résistance aux maladies (tests avec inoculation artificielle), ainsi que pour la résistance à différents stress (par exemple germination des graines, croissance, formation du pollen à basses températures). La sélection et les tests agronomiques sont réalisés en serre et au champ.

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

Des échelles de notation ont été mises au point pour les tests de résistance aux maladies. Les essais en serre et au champ sont observés tout au long de la culture, les fruits sont récoltés, pesés, comptés, analysés pour leurs caractéristiques de présentation ou de composition chimique (teneur en matière sèche et acidité pour les variétés d'industrie).

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

### *a) Étapes de la production*

La multiplication des semences des variétés fixées et la production des semences hybrides  $F_1$  sont réalisées par de nombreuses compagnies privées dans le monde. On peut estimer de 300 à 500 tonnes de graines la quantité totale de graines de tomate utilisées chaque année dans le monde, dont environ 30 pour cent de semences hybrides  $F_1$ . Il est difficile de chiffrer avec précision les surfaces utilisées pour ces productions : une estimation vraisemblable se situe autour de 3 000 ha.

Les zones de production de semences sont largement réparties dans le monde : Europe, Amériques et Asie.

En ce qui concerne les hybrides  $F_1$ , les semences sont produites par des compagnies spécialisées et certains pays ont longtemps été des pionniers pour ce type de production, citons par exemple la Bulgarie ou Taiwan. Les zones de production de semences hybrides  $F_1$  de tomate sont aujourd'hui beaucoup plus diversifiées en Asie, en Amérique du Sud et en Europe du Nord sous serre.



Tableau 7.2. **Résistances aux parasites introduites dans des variétés de tomate**

– *L. pimpinellifolium*

O +++ I	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> pathotype 0 (ex race 1)
O ++ I-2	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> pathotype 1 (ex race 2)
O +++ Ve	<i>Verticillium</i> ssp. pathotype 0 (ex race 1)
–	<i>Verticillium</i> ssp. pathotype 1 (ex race 2)
O ++ Cf-2	<i>Cladosporium fulvum</i> (= <i>Fulvia fulva</i> )
O + Cf-5	<i>Cladosporium fulvum</i> (= <i>Fulvia fulva</i> )
O + Cf-6	<i>Cladosporium fulvum</i> (= <i>Fulvia fulva</i> )
O + Cf-9	<i>Cladosporium fulvum</i> (= <i>Fulvia fulva</i> )
O +++ Sm	<i>Stemphylium</i> ssp.
O + Ph-2	<i>Phytophthora infestans</i>
O ++ Pto	<i>Pseudomonas tomato</i>
O ++ –	<i>Pseudomonas solanacearum</i> (pays tropicaux)
–	<i>Corynebacterium michiganense</i>
O + –	Tomato spotted wilt virus (TSWV)

– *L. cheesmanii*

– *Liriomyza* ssp.

– *L. hirsutum*

O + Tm-1	Tobacco mosaic virus (TMV)
O + Cf-4	<i>Cladosporium fulvum</i>
–	<i>Oidium lycopersicum</i>
–	<i>Corynebacterium michiganense</i>

– *L. peruvianum*

O ++ Frl	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i>
O + pyl	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>
O + Cf-4	<i>Cladosporium fulvum</i>
Lev	<i>Leveillula taurica</i>
O + Tm-2	Tobacco mosaic virus (TMV)
O +++ Tm-2 <sup>2</sup>	Tobacco mosaic virus (TMV)
O + –	Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)
–	Tomato spotted wilt virus (TSWV)
O +++ Mi	<i>Meloidogyne</i> ssp.

– *L. pennellii*

1-3 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, pathotype 2 (ex race 3)

- 
- O Résistance introduite dans des variétés diffusées, avec indication de son importance actuelle (+, ++ ou +++) dans les cultures et du symbole du gène s'il est identifié.  
 – Les résistances proviennent des espèces sauvages indiquées.
- 

**b) Pratiques d'isolement**

La tomate se comportant comme une espèce autogame, il n'existe pas de contrainte d'isolement des champs de production. Il arrive cependant parfois de rencontrer des cas de fécondation croisée naturelle accidentelle, mais à des taux très faibles toujours inférieurs à 1 pour cent. Les semences des variétés fixées et hybrides F<sub>1</sub> doivent être contrôlées conformes et de bonne germination par les obtenteurs et producteurs de semences.

### **c) *Rôle de la certification et de l'homologation***

Dans la plupart des pays développés et plus particulièrement en Europe et aux États-Unis, l'autorisation de commercialisation des semences est soumise à l'inscription des nouvelles variétés sur des listes nationales ou communautaires. Les essais officiels d'inscription ont pour but de garantir aux utilisateurs que la variété est stable, homogène et distincte des variétés plus anciennes. L'inscription d'une variété n'est cependant pas une reconnaissance de sa valeur agronomique. La certification par des organismes extérieurs aux sociétés n'est pas mise en œuvre pour les potagères. Chaque société engage directement sa responsabilité vis-à-vis de ses clients.

Les obtenteurs-producteurs de semences de tomate sont en mesure de garantir la qualité de leurs variétés grâce au respect de tout un système de règles de contrôle. Ces contrôles s'appliquent aux porte-graines (semences de base) comme aux semences commerciales. Dans le cas des hybrides  $F_1$ , le processus est le suivant :

Pour chacune des lignées parentales :

- contrôle d'homogénéité, contrôle des résistances aux maladies ;
- production de semences de prébase à partir d'un certain nombre de lignées (10 à 15) afin de prévenir la variance ou dérive génétique ;
- production contrôlée des semences de base à partir de ces prébases ;
- contrôle sur plantes, phytotests, RFLP des semences de base.

Production des semences hybrides :

- contrôle des équipes et champs de production ;
- contrôle des semences récoltées :
  - germination ;
  - absence de parasites transmis par graines ;
  - désinfections éventuelles ou systématiques ;
  - contrôle de pureté : autofécondations, fécondations croisées accidentelles, risques de mélanges ;
- identification de la variété :
  - contrôles sur plantes ;
  - RFLP.

Les semences commerciales de tomate ne sont pas obligatoirement soumises à des règles de certification officielle de la part des autorités mais doivent répondre à des normes minimales de qualité fixées par l'interprofession.

### **d) *Surveillance du comportement des variétés ; durée de vie après la commercialisation***

Avant la commercialisation, les nouvelles variétés subissent au minimum deux années d'expérimentation extérieure chez des cultivateurs afin de vérifier sur le terrain les caractéristiques variétales et de préciser les techniques culturales les plus appropriées. Toutes les informations sont alors transmises aux sélectionneurs en collaboration avec les spécialistes du développement des compagnies de semences et les techniciens des instituts de vulgarisation ou des groupements de producteurs.

Après la commercialisation, l'échange d'informations se poursuit entre le sélectionneur, les attachés commerciaux, les responsables du marketing, les techniciens de culture et les producteurs. Cette collaboration est indispensable au succès du développement des

nouvelles variétés et à la prise en compte par le sélectionneur des multiples problèmes nouveaux qui peuvent se poser concernant l'adaptation agronomique (nouvelles techniques culturales), la qualité (adaptation aux marchés de consommation) et les questions phytosanitaires (nouvelles maladies).

Du fait de l'extrême diversité des conditions de culture et des marchés de consommation, la tomate est certainement parmi les espèces potagères celle qui présente le plus de types variétaux différents, que ce soit pour le marché de frais ou le marché d'industrie. L'émergence de nouvelles variétés peut être extrêmement rapide et la durée de vie des variétés est parfois très courte, en particulier dans les zones très spécialisées de production : cultures sous serre chauffée en Europe ou zones de cultures pour l'exportation (par exemple, Espagne, Maroc).

## Références

- FAO (1989), *1988 Production Yearbook, Tomato*, vol. 4, pp. 179-180.
- RICK, C.M. (1978), «The tomato», *Scientific American*, vol. 239, pp. 76-87.
- RICK, C.M. (1986), «Germplasm resources in the wild tomato species», *Acta Horticulturae*, vol. 190, pp. 39-47.

## 8. Le tournesol

*par*

Felicity Vear et Jerry Miller

### A. Caractéristiques de la plante

#### a) *Origines géographiques; centre de la diversification*

Le tournesol cultivé, *Helianthus annuus* L., est l'une des rares espèces cultivées originaires d'Amérique du Nord, des états du sud-ouest des États-Unis. Il a d'abord été cultivé par les Indiens qui l'utilisèrent comme source d'huile comestible. Le tournesol a été introduit en Europe via l'Espagne au XVI<sup>e</sup> siècle. On sait qu'il était utilisé comme produit alimentaire en Russie en 1779, et la sélection visant à augmenter la teneur en huile a commencé en 1860. Depuis cette date, le tournesol, utilisé tant comme source d'huile qu'en confiserie, s'est répandu presque partout dans le monde, depuis les tropiques jusqu'aux zones de production septentrionales du Canada et de la Russie.

L'*Helianthus annuus* sauvage et ses espèces voisines proviennent d'Amérique du Nord. Le principal centre de diversification du tournesol cultivé était la Russie, mais le type de produit cultivé ancien, formé de populations hétérogènes cultivées dans des milieux très divers, a conduit à une dérive génétique importante, et des centres secondaires de variation se sont développés en Europe, Argentine, Amérique du Nord, Afrique du Nord, Chine et Australie.

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

Le tournesol est l'espèce annuelle la plus importante cultivée spécifiquement pour son huile et est à présent la deuxième culture hybride du monde. En 1989, la production mondiale s'élevait à environ 21.6 millions de tonnes, sur environ 15.7 millions d'ha. Les principaux producteurs sont la Russie, l'Argentine, les États-Unis, la Chine et la Communauté européenne. Dans la CEE, la France et l'Espagne cultivent chacune environ 1 million d'ha. Il y a aussi d'importantes zones de culture en Australie, Afrique du Sud, Turquie, Inde, et dans beaucoup de pays d'Europe de l'Est. Le rendement mondial moyen est d'environ 13 q/ha.

### c) *Position taxonomique*

Le genre *Helianthus* se compose de 67 espèces, provenant pour la plupart d'Amérique du Nord, mais quelques-unes proviennent d'Amérique du Sud. Le genre se divise en quatre groupes (Heiser, 1978) :

*Annui* : Le tournesol cultivé, *H. annuus*, se trouve dans ce groupe. Les treize espèces sont toutes des espèces annuelles diploïdes ( $2n = 2x = 34$ ), provenant du sud-ouest des États-Unis. Le *H. annuus* sauvage se trouve, souvent sous forme de plante adventice, à l'ouest du Mississippi. Il mesure de 1 à 3 m de haut, il est ramifié et montre beaucoup de variabilité. Le tournesol peut être hybridé avec toutes les autres espèces de cette section. Celles qui présentent le plus grand intérêt sont : l'*H. petiolaris*, l'*H. bolanderi*, l'*H. praecox*, l'*H. neglectus* et l'*H. anomalus*, qui sont des sources de stérilité mâle cytoplasmique, et l'*H. argophyllus* et l'*H. anomalus* qui sont résistants à la sécheresse.

*Divaricati* : Les 30 espèces vivaces, que l'on trouve à l'est et au centre des États-Unis, se répandent et se perpétuent au moyen de rhizomes ou de tubercules. Il existe des espèces diploïdes ( $2x$ ), tétraploïdes ( $4x$ ) et hexaploïdes ( $6x$ ). L'*Helianthus tuberosus*, le topinambour, appartient à ce groupe. Certaines espèces, comme l'*H. occidentalis*, l'*H. rigidus* et l'*H. resinosus*, montrent une résistance à la maladie qu'il serait utile d'introduire dans les tournesols cultivés.

*Ciliares* : Les six espèces sont des plantes vivaces herbacées, que l'on trouve au Mexique et à l'ouest des États-Unis. Elles ont des racines profondes ou qui s'étalent. Le nombre de chromosomes est  $2n = 34$ , sauf pour l'*H. ciliares*, pour lequel on connaît des types tétraploïdes et hexaploïdes.

*Fruticosi* : Les 17 espèces que l'on trouve en Amérique du Sud sont étroitement liées à un autre genre, le *Viguiera*, et sont tout à fait différentes des espèces nord-américaines. Ces espèces sont classées dans le genre *Helianthus* à cause de leurs involucre en forme d'écailles. Ces plantes sont vivaces et frutescentes. Le nombre chromosomique est  $2n = 34$  (diploïde) pour les espèces étudiées.

### d) *Caractéristiques génétiques et cytogénétiques*

Les recherches effectuées sur la génétique du tournesol sont relativement récentes (depuis 1960), et aucune carte des chromosomes de type classique n'a été mis au point. Peu de gènes liés sont connus, la principale exception étant un gène récessif donnant la stérilité mâle, lié avec une recombinaison de 1 pour cent seulement à un gène contrôlant la production d'anthocyanine (Leclercq, 1966). La cartographie du génome est actuellement en cours et utilise aussi bien des marqueurs morphologiques que moléculaires.

Le principal caractère cytoplasmique connu et utilisé est la stérilité mâle cytoplasmique (SMC). La première source, obtenue à partir d'un croisement entre l'*H. petiolaris* et le tournesol cultivé (Leclercq, 1969), est utilisée dans le monde entier pour la production d'hybrides commerciaux. Environ 20 autres SMC ont été obtenues à partir d'autres croisements interspécifiques ou intraspécifiques (Serieys et Vincourt, 1987). Ils constituent une assurance au cas où un problème spécifique se poserait avec le premier SMC. Des études sont en cours pour définir leur éventuel intérêt agronomique.

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

Il y a eu un mouvement considérable de matériel génétique ces 20 dernières années, comprenant aussi la distribution de collections de ressources génétiques mises au point dans toutes les parties du monde et de génotypes modernes provenant des principaux centres de recherche en Europe, en Amérique du Nord et du Sud, en Afrique du Sud et en Australie.

Étant donné que le tournesol est une culture d'origine récente dans de nombreux pays, les mesures phytosanitaires de protection contre l'introduction des maladies sont d'une grande importance. La principale maladie concernée est le mildiou, *Plasmopara helianthi*, qui se déplace probablement entre les pays sur les semences, bien qu'à une faible fréquence. Ce parasite trouve son origine en Amérique du Nord, et différentes espèces y sont connues ainsi qu'en Europe, Amérique du Sud, Afrique et Asie. Un traitement efficace des semences est à présent disponible (le métalaxyl) et il est important qu'il soit utilisé. L'Australie a un système de quarantaine.

Une autre maladie qui pourrait être importée avec les semences est due à une plante parasite, l'*Orobanche koumana*, couramment dénommée orobanche. On la trouve essentiellement en Europe de l'Est et en Espagne. On trouve de nombreux insectes ravageurs aux États-Unis, et on ne sait pas s'ils pourraient s'étendre à d'autres zones de culture du tournesol.

#### f) *Utilisations finales actuelles*

L'utilisation la plus importante du tournesol concerne son huile, qui constitue environ 50 pour cent de la graine. Cette huile est riche en acide linoléique polyinsaturé et a une valeur nutritionnelle élevée, tant comme huile que comme margarine. A l'heure actuelle, il existe aussi un grand intérêt pour un nouveau type d'huile, qui provient d'une mutation en Russie et contient jusqu'à 87 pour cent d'acide oléique (monoinsaturé). Cette huile pourrait remplacer l'huile d'olive à un coût inférieur, mais présente un intérêt particulier pour l'industrie, notamment dans les secteurs des lubrifiants, des produits pharmaceutiques et des cosmétiques.

Le tourteau restant après extraction de l'huile peut contenir jusqu'à 40 pour cent de protéines, selon que la graine est décortiquée ou non avant cette extraction. Le tourteau de tournesol contient moins de lysine mais plus de méthionine que celui du soja. Lorsqu'il n'est pas décortiqué, on peut l'utiliser en complément pour les ruminants, mais l'intérêt va maintenant croissant, surtout en Europe, pour le décortiquage, qui fournit un produit qui peut être utilisé pour l'alimentation des animaux non ruminants.

La graine de tournesol est couramment consommée comme amuse-gueule, notamment en Europe de l'Est et en Amérique du Nord. Des types de graines spéciales, grosses, à faible teneur en huile, servant de friandise, ont été mises au point aux États-Unis, en Espagne et en Chine. Elles sont vendues entières ou décortiquées, pour des utilisations identiques à celles des cacahuètes.

## Mécanismes de reproduction

### a) *Mode de reproduction*

Les fleurs du tournesol ou fleurons sont regroupées sur une tête ou capitule. Jusqu'à la floraison, le bourgeon terminal est héliotropique (tourne pour faire face au soleil le long du jour), mais dès la floraison le mouvement s'arrête face au soleil levant pour les types à tête unique. Les fleurs sont hermaphrodites, avec des organes à la fois mâles (étamines) et femelles (pistil) (figure 8.1). Les tournesols sont à pollinisation croisée, avec un système complexe d'autostérilité sporophytique. Dans les formes sauvages des espèces *H. annuus* comme des autres espèces *Helianthus*, la pollinisation croisée est obligatoire, tandis que dans les types cultivés, l'autopollinisation est courante, si les mécanismes d'autofertilité sont incorporés dans le génotype. Les variétés à pollinisation libre étaient hautement autostériles étant donné que c'était, en fait, un caractère favorable : les tournesols montrant une vigueur hybride, un bon peuplement était constitué d'un mélange de plants hybrides vigoureux. Afin de maintenir cette vigueur, il devait y avoir une majorité de pollinisation croisée, de sorte que peu de plantes ont manifesté une dégénérescence par consanguinité.

Les efforts mis en œuvre pour créer des variétés hybrides dans les programmes modernes de sélection ont nécessité des lignées consanguines homozygotes que l'on pouvait conserver. Il s'agissait d'une évolution radicale du fait que cela a nécessité de choisir des génotypes autofertiles. Néanmoins, la vigueur de l'hybride est encore l'objectif visé, et la pollinisation croisée se produit dans le champ commercial.

### b) *Caractère vivace ou annuel*

Aucun tournesol vivace n'a été mis au point. Il est à noter que le topinambour, *Helianthus tuberosus*, est une culture vivace appartenant au même genre, et les tubercules sont récoltés pour le fourrage et la consommation humaine. Les espèces vivaces d'*Helianthus* peuvent provoquer certains problèmes dans les champs de sélection. Une fois introduits, leurs rhizomes sont difficiles à supprimer (à moins de les cultiver dans un récipient).

### c) *Mode de pollinisation*

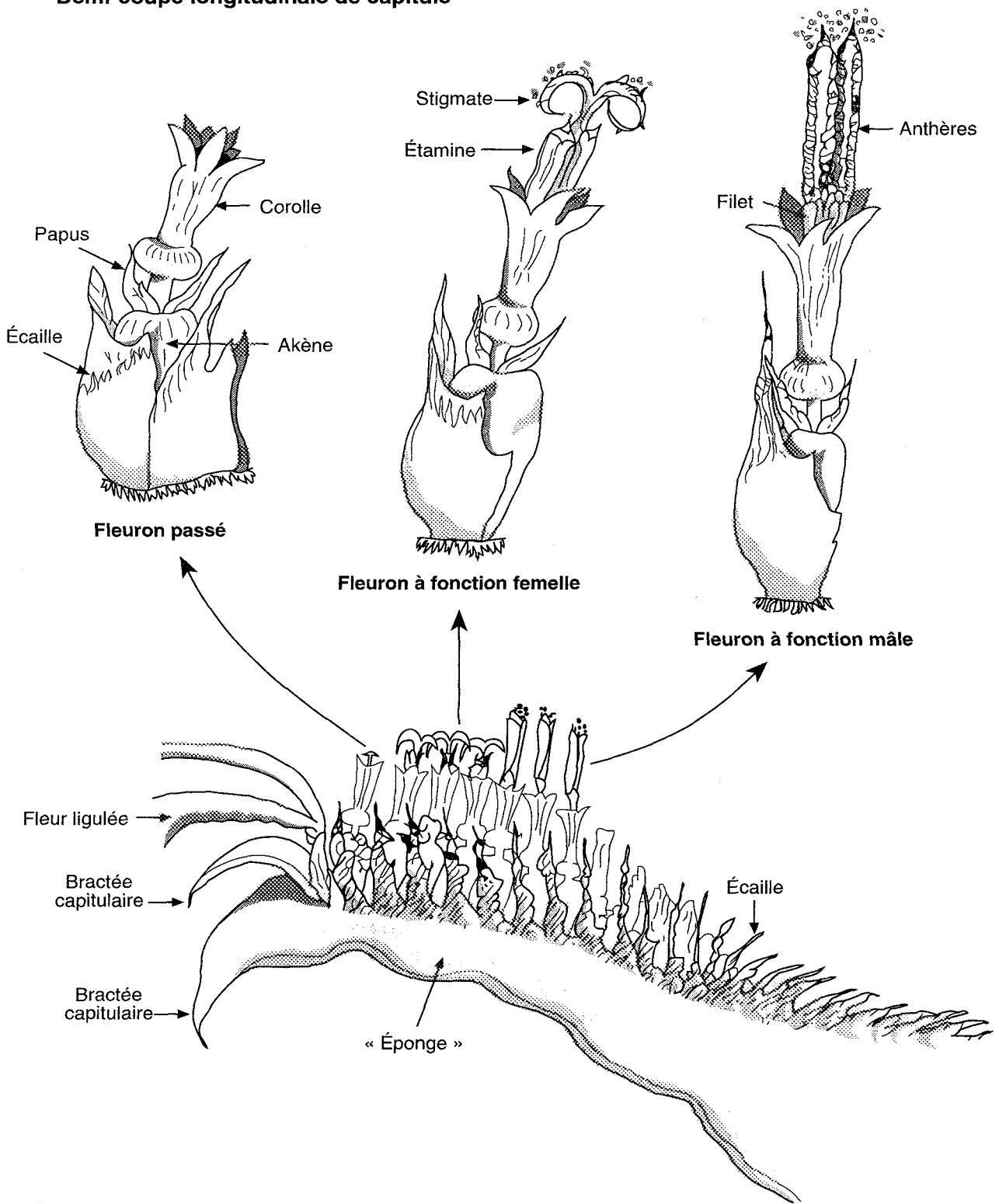
Les tournesols sont pollinisés par les insectes, essentiellement par les abeilles et les bourdons (*Apis mellifera* et *Bombix* ssp.) Dans les régions naturellement boisées, par exemple, les abeilles sauvages suffisent. Ailleurs, des essaims d'abeilles peuvent être introduits dans les champs de tournesol, notamment dans la production de graines hybrides. Les abeilles ne sont pas seulement attirées par la couleur vive des fleurons ligulés (souvent appelés « pétales »), mais aussi par le nectar et divers composés aromatiques produits par la plante.

### d) *Dispersion et survie des propagules*

La graine de tournesol est un akène (fruit sec indéhiscent). Le type cultivé est souvent désigné sous le nom de variété botanique « macrocarpus ». La graine est très grande, avec un poids de 30 à 100 g pour 1 000 grains. Au contraire, les espèces sauvages ont des graines beaucoup plus petites, qui atteignent très rarement 10 g pour 1 000 grains.

Figure 8.1. Section d'un capitule de tournesol à la floraison et détails de fleurons à différents stades

Demi-coupe longitudinale de capitule



Source : Lamarque et al. (1984).



Les tournesols cultivés ont perdu leurs mécanismes de dispersion, et les graines restent sur le capitule à maturité. Une consommation incomplète par les oiseaux peut faire tomber les graines sur le sol. La plupart des tournesols sauvages brisent leurs graines à maturité, et ces graines peuvent être répandues sur de courtes distances par les animaux qui s'en nourrissent sur les poils ou les plumes desquels s'accroche la surface rugueuse de l'akène. Les graines de tournesols cultivés restent viables dans le sol pendant cinq à dix ans. Avec une période de latence normale de trois mois, les semences germent lorsque le labourage les apporte en surface. Les semences de tournesols sauvages durent probablement même plus longtemps dans le sol et montrent une dormance irrégulière, de sorte que toutes les semences ne germent pas en même temps.

#### e) *Croisements avec des espèces apparentées*

Comme il est mentionné dans la section concernant la taxonomie, l'*Helianthus annuus* sauvage et cultivé peut se croiser avec toutes les autres espèces de la section *annui* du genre, mais la proportion est faible.

Les croisements les plus courants se feraient entre le tournesol cultivé et les espèces sauvages *H. annuus* et *H. petiolaris*. Les croisements avec l'*H. argophyllus* sont aussi possibles; toutefois, cette espèce et le tournesol cultivé poussent rarement à proximité. Des croisements spontanés entre des espèces sauvages et le tournesol cultivé sont faciles à éliminer, étant donné qu'ils montrent l'aspect ramifié dominant des types sauvages.

Les croisements artificiels du tournesol cultivé avec les espèces vivaces deviennent à présent possibles grâce à l'utilisation des techniques de culture *in vitro*, mais ce type de croisement ne se produit pas à l'état naturel. Les croisements artificiels avec d'autres espèces de cette section produisent généralement peu de semences.

### **Toxicologie**

On ne connaît aucun produit toxique particulier chez le tournesol.

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

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

Le tournesol a besoin d'une température minimum d'environ 6 °C pour croître. Les plantes supporteront un léger gel pendant le premier mois de la croissance. Le tournesol est cultivé comme culture d'hiver dans les régions au climat doux et comme culture d'été dans les zones tempérées. Si la maturité physiologique est atteinte, les gels avant la récolte peuvent présenter un avantage, en faisant mourir rapidement, en asséchant et en stoppant tous les pathogènes. Cela se produit souvent au nord des États-Unis, au Canada et en Russie.

Pour étendre la culture dans des zones chaudes et sèches, des programmes de sélection tendent à améliorer la résistance à la sécheresse. Cela peut se faire directement, en faisant une sélection en fonction de la tolérance à un apport restreint en eau pendant la croissance, ou indirectement, en opérant une sélection en fonction de la croissance à faible température, afin que les semailles puissent se faire plus tôt et échapper aux sécheresses de l'été. Cette dernière sélection favoriserait aussi l'extension de la culture aux zones tempérées fraîches.

## ***b) Restrictions biologiques à une plus grande extension de la culture***

Le tournesol montre une faible dépendance photopériodique, et peut être cultivé depuis l'équateur jusqu'à au moins 50° N ou S.

## **B. Pratiques actuelles de sélection et création variétale**

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

#### ***i) Conservation du matériel génétique***

Les premières variétés de tournesol étaient des populations hétérogènes à pollinisation libre entretenus par les agriculteurs. Puis, de 1920 à 1970, des populations plus caractérisés ont été sélectionnés, surtout en Russie, à la station de VNIIMK à Krasnodar. Les plus connus étaient le VNIIMK 6540, le VNIIMK 8931 et le Peredovik. Il y avait aussi des variétés argentines, françaises, canadiennes et roumaines. Toutes ces populations constituaient les principales ressources génétiques du tournesol cultivé jusqu'au milieu des années 70. Ils sont conservés par des sélectionneurs soit en parcelles isolées (où la pollinisation est effectuée par les abeilles), soit par une série de fécondations consanguines sous tubes de papier ou sacs de toile, avec un mélange de semences de toutes les plantes récoltées afin de maintenir la variabilité.

#### ***ii) Méthodes de sélection***

Les programmes de sélection massale ou récurrente d'améliorer les populations de sélection de base en augmentant les fréquences de gènes favorables. Puis, pour obtenir des lignées qui soient parentes des hybrides, on utilise une sélection généalogique.

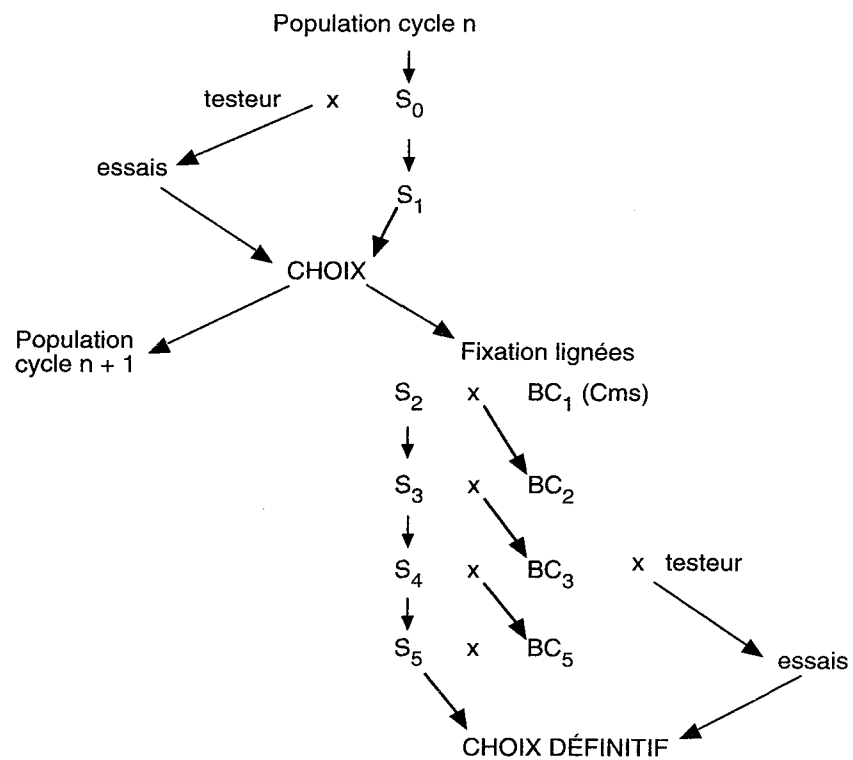
*Sélection massale* : Dans la sélection massale, chaque cycle de sélection ne représente qu'une génération. On laisse les plantes cultivées en parcelle isolée s'entrecroiser, et celles qui doivent être retenues sont choisies selon leur phénotype, c'est-à-dire leur aspect. Une telle méthode peut être efficace pour les caractères qui peuvent être observés avant la floraison, de sorte que les plantes qui ne présentent pas d'intérêt peuvent être éliminées avant de produire du pollen.

*Sélection récurrente* : Un cycle de sélection implique deux ou trois générations, en deux étapes : entrecroisement des matériaux et test des descendances obtenues. Les premiers programmes de sélection récurrente sur des tournesols ont été élaborés par Pustovoit, selon ce qu'il appelait la « méthode des réserves ». Cette méthode était fondée sur l'étude de la descendance et la création de nouvelles populations à partir du reste des semences des meilleurs individus. Ce système est efficace lorsqu'il y a une bonne variabilité génétique et un degré élevé d'héritabilité (bonne extrapolation d'une génération à la suivante). Il est par exemple utilisé pour la teneur en huile et la résistance du capitule au *Sclerotinia* (Vear et Tourvieille, 1984).

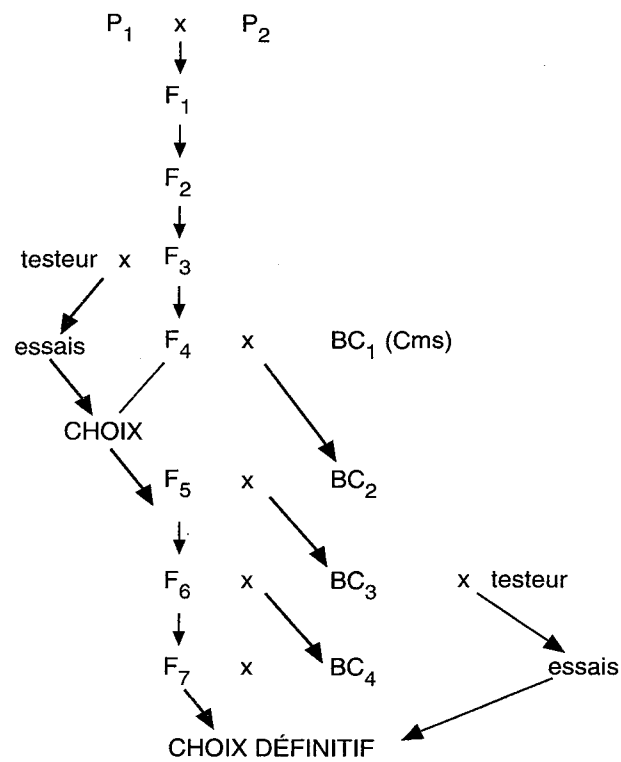
Avec le développement des hybrides, la sélection récurrente relative au rendement se fait plus complexe, étant donné qu'il est nécessaire de faire des hybrides afin de déterminer la capacité de combinaison des lignées consanguines. Le rendement d'un hybride n'est pas lié à celui de ses lignées parentales. Le système utilisé à l'INRA à Clermont-Ferrand est indiqué à la figure 8.2a.

Figure 8.2. Schémas de sélection du tournesol

a. Schéma de sélection récurrente (population femelle)



b. Schéma de sélection généalogique (lignées femelles)



*Sélection généalogique* : Cette méthode est utilisée pour obtenir des lignées fixes et homozygotes dans les programmes de sélection récurrente et pour combiner des caractéristiques intéressantes de lignées complémentaires. Dans ce dernier cas, les croisements entre deux lignées mâles-fertiles sont effectués, soit par émascation avec de l'acide gibberellique (ce qui n'est possible que sur une petite échelle), soit en croisant deux plantes mâles-fertiles et en distinguant, par leur vigueur, les hybrides F<sub>1</sub> des plantes consanguines autofécondées. Les plantes sont autopollinisées à chaque génération jusqu'à ce qu'elles manifestent une fixation complète; on couvre pour cela les capitules de sacs de papier ou de toile. Chaque génération est suivie séparément, et la sélection peut se faire à chaque génération. Un exemple de cette méthode est donné à la figure 8.2b.

Pour les lignées femelles potentielles, la SMC doit être introduite par rétrocroisement. Cela prend de six à sept générations. Étant donné que cela implique beaucoup de travail, on ne commence généralement qu'après avoir effectué un test de la capacité de combinaison. Il est possible d'accélérer cette phase, en recourant à une culture *in vitro* d'embryons immatures (Alissa *et al.*, 1986). De cette façon, il est possible d'obtenir de quatre à cinq générations par an, au lieu de deux ou quelquefois trois.

### iii) La création variétale : les hybrides

Les premières études de la vigueur des hybrides chez le tournesol ont été réalisées à la fin des années 40 par des Canadiens, qui ont trouvé une augmentation de 60 pour cent de rendement par rapport aux populations. Ils ont produit des variétés hybrides en utilisant l'autostérilité pour faciliter les croisements entre les lignées parentales. Cependant, la proportion de plants hybrides n'était souvent que de 50 pour cent, car il était impossible d'utiliser des parents hautement autostériles du fait qu'on ne pouvait pas les multiplier.

Pour être utilisable dans la production d'hybrides, un gène récessif produisant une stérilité mâle doit être reconnaissable avant la floraison. Le gène lié à la production d'anthocyanine, mentionné par Leclercq en 1966, remplissait ces conditions et rendit possible la première production de véritables variétés hybrides de tournesol (voir figure 8.3). Les parents mâles étaient des lignées normales de tournesol sans le gène mâle stérile. Ces variétés d'hybrides ont été mises au point par l'INRA de 1969 (INRA 6501) à 1975 (Airelle). Cependant, leur production a donné lieu à deux problèmes :

1. La recombinaison de 1 pour cent a donné lieu à des plants mâles-fertiles sans anthocyanine, qui produisaient du pollen dans les lignes de femelles. Le pollen provenant de ces plants femelles mâles-fertiles était transporté par les abeilles et pollinisait jusqu'à 30 pour cent des plants mâles-stériles.
2. La nécessité d'éliminer la moitié des plants du parent femelle a rendu nécessaire un semencement très dense, suivi d'un éclaircissage, ce qui était onéreux et irrégulier.

La découverte d'une stérilité mâle cytoplasmique par Leclercq (1969) (dans un croisement entre l'*H. petiolaris* et l'*H. annuus*) a simplifié la production d'hybrides, étant donné que tous les plants femelles sont mâles-stériles (figure 8.4). Des gènes restaurateurs ont été trouvés dans les descendances du même croisement ainsi que dans l'*H. annuus* sauvage. Les premiers hybrides (Fransol et Relax) ont été enregistrés en 1974, et la culture des hybrides cytoplasmiques s'est généralisée depuis 1978. Plusieurs études ont montré des augmentations de 105 à 140 pour cent du rendement des hybrides par rapport à ceux des variétés à pollinisation libre.

Figure 8.3. Schéma de l'utilisation de la stérilité mâle génique marquée chez le tournesol (gènes : Ms/ms = mâle fertile/mâle stérile : T/t = anthocyané/non anthocyané)

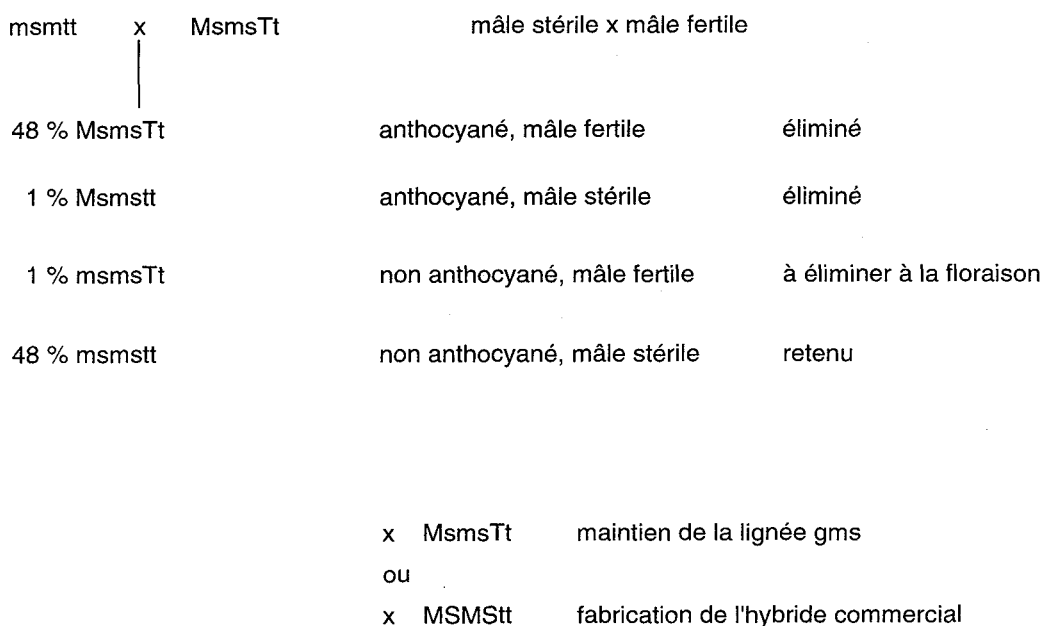
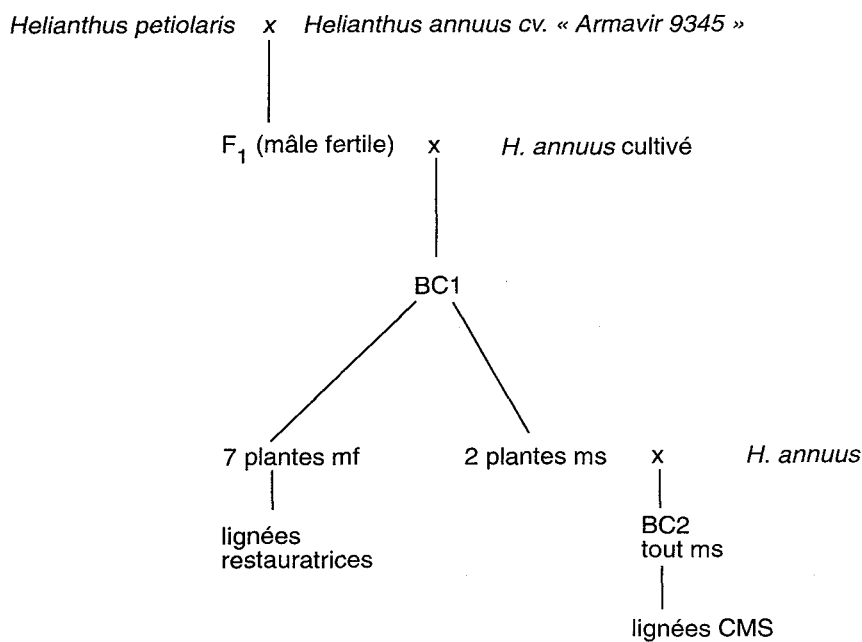


Figure 8.4. Origine de la stérilité mâle cytoplasmique « classique » chez le tournesol



Source : Leclercq (1969).

## b) Objectifs de la sélection

Les graines de tournesol ne fournissent pas seulement de l'huile mais aussi un tourteau à haute teneur en protéines. Dans certains pays, les agriculteurs sont payés en fonction de leur rendement en huile à l'ha, mais en France et aux États-Unis ils sont payés selon leur rendement en graines, avec une prime qui varie selon la teneur en huile (la base étant de 44 pour cent). Les critères actuels de sélection sont donc les suivants :

Le *rendement en graines* a un faible niveau d'héritabilité (Fick, 1978), c'est-à-dire qu'il est très influencé par l'environnement, et différentes combinaisons d'hybrides manifestent des réactions spécifiques. C'est donc le caractère, pour n'importe quel génotype, qui est le plus difficile à décrire avec précision. Le rendement des tournesols est déterminé par le nombre de graines par capitule et le poids de 1 000 graines. Ces caractères ont en général un degré plus élevé d'héritabilité que le rendement lui-même, mais ils peuvent être en corrélation négative, et le meilleur indicateur prévisionnel de rendement varie selon les essais. Ainsi, dans la plupart des programmes de sélection, le rendement en grains des hybrides est mesuré directement.

La plus haute *teneur en huile* connue (de 60 à 65 pour cent) est probablement proche des limites biologiques. La teneur en huile est définie par la plante qui porte les graines ; le pollen n'a que peu d'effet. La teneur en huile est un caractère hautement héritable (Fick, 1975), qui peut être choisi dans les premières générations d'un programme de sélection. En général, les hybrides ont une teneur en huile plus élevée que leurs parents (hétérosis), mais ce n'est pas le cas quand des lignées naturelles contiennent 50 pour cent ou plus d'huile.

La teneur en huile est à présent mesurée par résonance magnétique nucléaire, une méthode non destructrice et rapide qui ne nécessite que de 2 à 3 g de semences. C'est donc l'un des caractères les plus faciles à sélectionner.

### i) Facteurs déterminant la stabilité de rendement

La *précocité* de récolte d'un génotype peut être définie de plusieurs façons. La date de la floraison est importante pour déterminer la période à laquelle la plante est la plus susceptible à la sécheresse et, dans des conditions d'humidité, à l'attaque du capitule par le *Sclerotinia*. Cependant, pour l'agriculteur, le caractère le plus important est la date à laquelle les tournesols peuvent être récoltés. La maturité physiologique (rendement et teneur en huile maximum) est atteinte lorsque la graine contient environ 35 pour cent d'eau. Il existe une certaine indépendance entre le séchage des semences et le séchage du capitule. La mesure la plus habituelle de la précocité est donc l'humidité de la semence au moment de la récolte, ou légèrement avant, lorsque l'écart entre les variétés précoces et tardives est d'au moins dix points.

L'humidité au moment de la récolte dépend de toute la période de croissance, mais plus particulièrement du temps écoulé entre la floraison et la maturité (Chervet et Vear, 1990). L'héritabilité est modérée, et les effets généraux des lignées consanguines se trouvent dans leurs hybrides (capacité générale de combinaison).

La *résistance à la maladie* est l'un des principaux facteurs déterminant la réussite de la culture du tournesol dans différentes parties du monde. Les problèmes sont différents selon les pays et selon l'environnement. En outre, la situation n'est pas la même en Amérique du Nord, où le tournesol et ses maladies et parasites principaux sont endémiques, et dans les pays où le tournesol a été introduit récemment. La relative nouveauté de

cette culture signifie aussi que de nouvelles maladies peuvent apparaître, à mesure que s'adaptent les parasites d'autres espèces de plantes.

Certaines maladies existent dans le monde entier; d'autres sont plus localisées. Celles que l'on trouve le plus fréquemment sont examinées ci-dessous.

*Le mildiou (Plasmopara helianthi).* Cette maladie, qui existe dans le monde entier, se maintient jusqu'à dix ans dans le sol et est transportée occasionnellement sur les semences. Les hypocotyles et les racines des jeunes plants sont infectés en conditions humides. Les plants rétrécissent et ne produisent pas de semence.

La résistance au mildiou a été obtenue tant des tournesols cultivés que des autres espèces d'*Helianthus*. Elle est déterminée par un ou plusieurs gènes dominants importants et est fonctionnellement complète. Toutefois, elle est spécifique à l'espèce, et différentes espèces de *Plasmopara* sont par exemple connues en Amérique du Nord (jusqu'à six) et en Europe (trois), (Gulya *et al.*, 1991). La résistance peut être testée sur des plantules dans une chambre de culture, à l'aide d'un test qui dure deux semaines. Les programmes de sélection visant à introduire la résistance dans les génotypes modernes sont rapides et, à l'heure actuelle, vont au rythme de l'apparition des nouvelles espèces.

*La moisissure blanche (Sclerotinia sclerotiorum).* Le *Sclerotinia*, qui existe partout dans le monde, sauf dans les zones très sèches, provoque une sclerotiniose sur différentes parties de la plante : les racines, la base des tiges, le bourgeon terminal, les feuilles, le capitule. Bien que ces différentes attaques proviennent du même champignon, on peut aussi les considérer comme des maladies différentes, d'importance différente dans différentes parties du monde : la racine et le collet en Amérique du Nord et en Europe; le bourgeon terminal en Europe et en Afrique du Nord; le capitule en Argentine, en Chine et en Europe.

A l'exception possible de la résistance à l'attaque du bourgeon terminal, la résistance est horizontale (aucune variété de parasite), partielle (on trouve tous les niveaux d'attaque) et sous contrôle polygénique. Elle est en générale additive, avec un taux modéré d'héritabilité (Castano *et al.*, 1992). Il est donc nécessaire d'effectuer des programmes de sélection à long terme pour rassembler dans un seul génotype beaucoup de facteurs additifs, dont la somme fournit une résistance appréciable à une ou plusieurs formes d'attaques de *Sclerotinia*. Des tests de sélection sont disponibles, mais ils doivent en général être réalisés en champ sur des plantes adultes.

Les progrès sont donc beaucoup plus lents que contre le mildiou, mais on peut considérer que les gains de résistance sont permanents. Les facteurs de résistance du tournesol cultivé sont utilisés en ce moment, mais à l'avenir, on espère introduire d'autres facteurs à partir des espèces vivaces d'*Helianthus*.

*Le Phomopsis (Diaporthe helianthi).* Il s'agit d'une nouvelle espèce de champignon, découverte en Yougoslavie au début des années 80. On l'a trouvé depuis dans des pays limitrophes et en France. Le parasite attaque à travers les feuilles, s'étend à la tige et provoque le flétrissement, l'assèchement prématuré et la rupture de la tige. Il hiverne sur ce qui reste des tiges de tournesol, et est donc particulièrement important dans les zones où les résidus de récoltes de tournesol ne sont pas broyés et labourés en automne.

La résistance est horizontale, polygénique et partielle, bien qu'avec une plus grande différence entre les génotypes que pour la résistance au *Sclerotinia*. Les tests de sélection sur des plantes adultes et la sélection dans des champs naturellement infectés sont

possibles. On trouve cette résistance dans le tournesol cultivé et aussi dans la section *annui* du genre *Helianthus*.

*La pourriture grise (Botrytis cinerea)*. Cette maladie est importante dans les zones tempérées avec des automnes humides. Le *Botrytis* provoque une pourriture du capitule à maturité. Lorsqu'elle est très sévère, les graines pourrissent aussi. La plupart du temps, le *Botrytis* pose des problèmes au moment des récoltes et diminue la qualité de l'huile (acidité excessive). La résistance est du même type que pour les attaques de *Sclerotinia* sur le capitule, mais moins de travaux ont été réalisés sur cette maladie. Les observations d'attaques naturelles sont utilisées plus souvent que les tests de sélection.

*Le flétrissement Verticillium dahliae*. Cette maladie est importante principalement en Amérique du Nord et en Argentine. Le *Verticillium* infecte les feuilles, et en atteignant la tige, produit une toxine qui tue la partie supérieure de la plante. La résistance est surtout oligogénique, mais pour le moment on ne connaît pas de variétés de ce pathogène.

*L'Alternaria ssp.* On trouve cette maladie surtout dans les pays chauds à forte humidité au cours des derniers stades de croissance (Australie, Afrique, Inde, nord de l'Argentine). Elle provoque de grandes taches brunes nécrotiques, qui peuvent limiter la photosynthèse et la translocation, sur tous les organes aériens. La résistance est polygénique.

*La rouille (Puccinia helianthi)*. D'importantes attaques de rouille sont observées en Amérique du Nord, en Australie et en Amérique du Sud, et parfois dans des climats relativement doux, comme celui de l'Espagne. Des pustules noires apparaissent sur les feuilles des plantes de tournesol, limitant la photosynthèse. La résistance est « verticale » (gène pour gène), oligogénique et complète. Un grand nombre de variétés sont connues, mais la sélection se fait encore en fonction de la résistance à une variété déterminée.

*L'orobanche (Orobanche koumana)*. On trouve surtout l'orobanche en Europe de l'Est, en Russie, en Turquie et en Espagne. C'est un parasite qui pousse sur les racines du tournesol, absorbant les éléments nutritifs et affaiblissant ainsi les plantes. Sa semence est une poudre très fine qui peut facilement être dispersée par le vent. La résistance est verticale et oligogénique. Les programmes de sélection requièrent l'introduction de gènes de résistance. On obtient un certain contrôle à l'aide d'herbicides.

*Autres maladies*. D'autres maladies qui peuvent nécessiter un contrôle dans certaines zones, sur certains génotypes ou certaines années comprennent : le *Septoria helianthi*, le *Rhizopus ssp.*, le *Macrophomina phasioli*, l'*Albugo trageopogonis*, le *Phoma ssp.* et certaines infections bactériennes. On connaît peu de virus ou de nématodes chez le tournesol.

Le tournesol accueille un certain nombre d'*insectes nuisibles*. En Amérique du Nord, environ 15 espèces d'insectes du tournesol provoquent des dommages aux plantes et une perte économique, selon la gravité de l'invasion (Schultz, 1978). L'existence de ce nombre d'insectes nuisibles coïncide avec l'évolution des tournesols sauvages en Amérique du Nord. A ce jour, ces espèces d'insectes ne se sont pas transportées à d'autres zones de production du monde. Cependant, deux espèces d'insectes attaquent le tournesol à l'extérieur de l'Amérique du Nord. Il s'agit de la teigne européenne du tournesol en Europe et en Russie, et du *Nysius vinitor* en Australie.

Les espèces d'insectes infestant le capitule qui occasionnent des dégâts économiques comprennent : la teigne du tournesol, *Homoesoma electellum* (Lepidoptera : Pyralidae); la teigne européenne du tournesol, *Homeosoma nebullella* (Lepidoptera : Pyralidae); le



*Cochylis hospes* (Lepidoptera : Cochylidae); le *Suleima helianthana* (Lepidoptera : Tortricidae); les *Smicronyx fulvus* et *S. sordidus* (Coleoptera : Curculionidae) et le cécidomyie du tournesol, *Contarinia schulzi* (Diptera : Cecidomyiidae). Les espèces se nourrissant des feuilles et de la tige comprennent : le chrysomèle du tournesol, *Zygogramma exclamationis* (Coleoptera : Chrysomelidae); la belle-dame, *Cynthia cardui* (Lepidoptera : Nymphalidae), et le *Cylindropterus adpersus* (Coleoptera : Curculionidae).

Les insectes les plus importants d'Amérique du Nord sont la teigne du tournesol, le *Cochylis hospes*, le *Smicronyx* et le cécidomyie du tournesol. La résistance à la teigne du tournesol et à la teigne européenne du tournesol a été associée à la couche cuirassée, substance pigmentée entre la couche extérieure et le tissu du sclérenchyme adjacent dans la coque du tournesol. Peu de mécanismes de résistance ont été déterminés pour les autres espèces. D'autres mécanismes permettant de réduire les dégâts ont été étudiés et comprennent : la lutte biologique, les produits chimiques répulsifs dérivés des espèces d'*Helianthus* sauvages, les phéromones pour piéger les insectes, les produits chimiques qui dissuadent les insectes de se nourrir et les mesures de lutte par les façons culturales.

Lorsque le tournesol souffre de *la sécheresse*, la photosynthèse et le remplissage des grains sont diminués, aussi les sélectionneurs cherchent-ils à trouver des génotypes qui utilisent au mieux l'eau disponible. Des facteurs comme la pénétration de la racine, la régulation stomatale et la perméabilité épidermique sont étudiés. On ne sait pas très bien quelle variabilité génétique existe chez le tournesol cultivé. Des espèces comme l'*H. argophyllus* peuvent être importantes comme sources de résistance.

*La verse* peut se produire à la base de la tige ou à mi-tige, mais elle est toujours catastrophique. En tant que facteur de résistance, on peut choisir une hauteur réduite, mais souvent les deux caractères sont indépendants. La sélection consiste à éliminer les génotypes qui présentent une verse. Le niveau d'héritabilité est très élevé.

## ii) Facteurs déterminant la qualité

*Qualité de l'huile* : La composition « normale » de l'huile de tournesol varie selon le climat : en climat tempéré, elle contient jusqu'à 75 pour cent d'acide linoléique et 20 pour cent d'acide oléique, alors qu'en climat plus chaud, on trouve couramment jusqu'à 60 pour cent d'acide oléique et 30 pour cent d'acide linoléique. Sans modification, cette huile est valable pour l'utilisation directe et pour la production de margarine.

Des travaux de sélection sont menés pour obtenir des génotypes comportant jusqu'à 85 pour cent d'acide oléique. Ce caractère est probablement déterminé par un petit nombre de gènes (Miller *et al.*, 1987), mais leurs effets peuvent dépendre de la température. L'huile à haute teneur en acide oléique est utilisée pour la consommation alimentaire et par l'industrie.

*Capacité de décorticage* : Les tournesols cultivés varient pour ce caractère. Il semble dépendre de la structure et de l'épaisseur de la coque. En général, les grandes graines avec des coques épaisses sont plus facilement décortiquées, mais certaines petites graines avec une teneur élevée en huile sont aussi satisfaisantes.

*Teneur en protéines* : Actuellement, les tournesols ne sont pas sélectionnés pour leur teneur en protéines, qui varie entre 11 et 30 pour cent. Ces dernières années, il y a eu une baisse de la teneur en protéines due à la sélection d'une forte teneur en huile, car ces deux caractères présentent une étroite corrélation négative. Si l'on recherche une forte teneur en protéines, il sera nécessaire de mettre au point des variétés avec des teneurs en huile moins élevées.

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

L'étude de la plupart des critères de sélection implique des essais en champ. Les tests de résistance au mildiou sont effectués dans des chambres de culture, mais jusqu'ici, aucun caractère ne peut être mesuré *in vitro*.

### **d) Évaluation de la performance générale**

Certains caractères morphologiques sont utilisés dans le monde entier pour décrire les géotypes du tournesol. A une échelle plus locale, des essais sur plusieurs sites sont utilisés pour déterminer la valeur agronomique des hybrides. Par ailleurs, chaque centre de sélection utilise son propre système de données. On peut néanmoins noter que pour la culture du tournesol à pollinisation croisée, la description d'une lignée consanguine fixe homozygote doit inclure non seulement des données sur la lignée elle-même mais aussi des données concernant sa capacité de combinaison (la valeur de ses hybrides) pour les principaux caractères agronomiques.

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

### **a) Étapes de la production; distances d'isolation**

Le taux de multiplication du tournesol est d'environ 1 à 400 pour les lignées consanguines (10 q/ha). Les semences de variétés hybrides sont produites par des agriculteurs sous contrat avec les sélectionneurs dans des champs isolés (ceux-ci sont souvent groupés pour produire une variété autour d'un village ou d'un groupe de fermes). Pour l'Europe, l'isolation minimum d'un autre géotype de tournesol est de 500 m. La semence parentale de base est également multipliée en champ avec une isolation de 3 km. La semence de prébase est multipliée en champ avec une isolation de 5 km ou sous des cages protégées des insectes. Toutes les générations antérieures sont produites sous sacs de papier ou de toile.

### **b) Enregistrement des variétés (Europe)**

En Europe, pour être proposée à la vente, une variété de tournesol doit être enregistrée dans un catalogue national ou européen. Pour cela, elle doit subir deux années d'essais dans environ quinze endroits et on doit trouver qu'il n'y a aucun défaut prohibitif, qu'elle est uniforme et reproductible, qu'elle est différente de toute variété connue et qu'elle manifeste une certaine amélioration par rapport aux hybrides de contrôle, qui sont les variétés les plus largement cultivées à ce moment-là.

### **c) Surveillance du comportement des semences**

Celle-ci varie selon les pays. Dans certains endroits, c'est l'unique responsabilité du sélectionneur. En France, une collection de base de tous les parents d'hybrides est conservée et utilisée pour contrôler toutes les productions d'hybrides (par le SOC = Société officielle de contrôle). Lorsque cet organisme estime que la variété produite remplit les conditions, des certificats attestant son authenticité sont attachés aux sacs de semences vendus aux agriculteurs.

Après la mise sur le marché, le sélectionneur contrôle en général le comportement d'une variété. Par exemple, en France, l'une des nouvelles variétés de mildiou a d'abord été signalée par un sélectionneur privé. Là où ils existent, les organismes techniques et de vulgarisation sont actifs, probablement parce que le tournesol est une culture nouvelle et que les relations inter-professionnelles sont bien structurées.

En Amérique du Nord et du Sud et en Europe, il n'y a aucun doute que tout problème nouveau sera rapidement identifié, et que l'information sera retransmise aux autorités et aux sélectionneurs. Le délai sera plus long dans les pays en développement, où les agriculteurs cultivent encore des variétés à pollinisation libre et conservent leurs propres semences ou les achètent sur le marché libre. Dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer des enquêtes spécifiques sur le terrain pour déterminer d'éventuels problèmes et leur importance.

#### *d) Durée de vie des variétés et diffusion commerciale*

En Europe, au cours de la première année suivant l'enregistrement, une nouvelle variété est généralement testée à grande échelle seulement par le sélectionneur et par les services de vulgarisation. La commercialisation à grande échelle commence l'année suivante. (Un sélectionneur ne produira de grandes quantités de semences hybrides que lorsqu'il est certain que la variété sera homologuée). A l'heure actuelle, environ la moitié des variétés homologuées dans le catalogue français sont exploitées commercialement. Elles durent environ quatre ou cinq ans, et une variété exceptionnelle durera huit à dix ans au plus.

Ces dernières années, le marché du tournesol de chaque pays est dominé par quatre ou cinq variétés, 20 autres étant vendues sur une petite échelle. C'est peut-être dû au fait que les programmes de sélection sont récents, de sorte que de grands progrès spécifiques sont constatés dans quelques variétés. Il est possible qu'à l'avenir, les progrès soient moins importants et plus fréquents, de sorte qu'il y aura davantage de variétés de valeur égale et un marché plus fragmenté.

## Références

### Travaux d'ordre général

- BONJEAN, A. (1986), *Tournesols de France*, UCST, Castelnaudary, France.
- CARTER, J. (1978), *Sunflower Science and Technology*, American Society of Agronomy, Wisconsin, vol. 19.
- MILLER, J.F. (1987), «Sunflower», in *Principles of Crop Development*, pp. 626-668, dir. pub. W. Fehr, Macmillan Pub. Co., New York.
- VEAR, F. (1992), «Le tournesol» in *Amélioration des espèces végétales cultivées*, dir. pub. A. Gallais et H. Bannerot, pp. 146-160, INRA, Paris.

### Références particulières

- ALLISSA, A., R. JONARD, H. SERIEYS et P. VINCOURT (1986), «La culture d'embryons isolés in vitro dans un programme d'amélioration du tournesol», vol. 302, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, pp. 161-164, Paris.
- CASTANO, F., M. HÉMERY-TARDIN, D. TOURVIEILLE et F. VEAR (1992), «The inheritance and biochemistry of resistance to attack of sunflower leaves by *Sclerotinia sclerotiorum*», *Euphytica*, vol. 58, pp. 209-219.
- CHERVET, B. et F. VEAR (1990), «Étude des relations entre la précocité du tournesol et son rendement, sa teneur en huile, son développement et sa morphologie», *Agronomie*, vol. 10, pp. 51-56.
- FICK, G. (1975), «Heritability of oil content in sunflowers», *Crop Science*, vol. 15, pp. 77-78.
- FICK, G. (1978), «Breeding and genetics», *Sunflower Science and Technology*, dir. pub. J. Carter, pp. 279-338.
- GULYA, T., W. SACKSTON, F. VIRANYI et K. RACHID (1991), «New races of downy mildew pathogen (*Plasmopara halstedii*) in Europe, North America and South America», *Journal of Phytopathology*, vol. 132, pp. 301-311.
- HEISER, C. (1978), «Taxonomy and origin of domesticated sunflower», *Sunflower Science and Technology*, dir. pub. J. Carter, pp. 31-53.
- LAMARQUE, C., M. LECONTE, J. BEMER et A. DAUMET (1984), «Morphologie externe des différentes pièces florales du capitule et conséquences sur les potentialités d'attaque par le *Sclerotinia*», *Informations Techniques CETIOM*, vol. 92, pp. 5-35.
- LECLERCQ, P. (1966), «Une stérilité mâle utilisable pour la production d'hybrides simples de tournesol», *Annales de l'amélioration des plantes*, vol. 16, pp. 135-144.
- LECLERCQ, P. (1969), «Une stérilité mâle cytoplasmique du tournesol», *Annales de l'amélioration des plantes*, vol. 19, pp. 99-106.
- MILLER, J., D. ZIMMERMAN et B. VICK (1987), «Genetic control of high oleic acid content in sunflower», *Crop Science*, vol. 27, pp. 923-926.

- SCHULZ, J. (1978), «Insect pests», in *Sunflower Science and Technology*, dir. pub. J. Carter, pp. 169-223.
- SERIEYS, H. et P. VINCOURT (1987), «Caractérisation de nouvelles sources de stérilité mâle cytoplasmique chez le tournesol», *Les colloques de l'INRA*, dir. pub. A. Berville, vol. 45, pp. 53-64.
- VEAR, F. et D. TOURVIEILLE (1984), «Recurrent selection for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* in sunflowers using artificial infections», *Agronomie*, vol. 4, pp. 789-794.

## 9. Le maïs

*par*

William S. Niebur

### A. Caractéristiques de la plante

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

On pense actuellement que le maïs a plusieurs centres d'origine. Randolph (1959) et McClintock (1959) utilisent des caractères morphologiques et physiologiques, ainsi que la répartition des chromomères sur les chromosomes, pour étayer cette théorie. Selon les données existantes, des domestications du téosinte, indépendantes les unes des autres, se seraient produites dans toute l'Amérique centrale. Selon Galinat (1983), le maïs que nous connaissons aujourd'hui aurait évolué en deux étapes. La première étape comprendrait la sélection des races au sein du téosinte (Étape involontaire), tandis que la seconde aurait visé à créer le maïs actuel (Étape délibérée). Aussi les experts proposent-ils comme centre d'origine du maïs la zone englobant le Mexique et l'Amérique centrale.

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

Le maïs (*Zea mays* L.) est la troisième céréale du monde par ordre d'importance, après le blé et le riz. Environ 17 millions d'ha de maïs étaient cultivés en Europe en 1992, y compris, très approximativement, environ 100 000 ha de semences de maïs. En Amérique latine, environ 25 millions d'ha sont cultivés en maïs, les pays les plus importants étant le Brésil, le Mexique et l'Argentine. En 1992, 32 millions d'ha étaient semés en maïs aux États-Unis. Le maïs est cultivé dans des conditions climatiques très diverses. Des variétés très précoces nécessitant 60 jours pour arriver à maturité, et des variétés nécessitant une année entière pour fructifier, sont parfois cultivées dans les mêmes régions géographiques.

#### c) *Position taxonomique ; relation aux espèces voisines*

Le maïs est un exemple de plante cultivée à ce point domestiquée qu'elle ne peut survivre sans l'aide de l'homme. Cette domestication a été accomplie par les populations indigènes du centre d'origine du maïs, les Amériques, avant l'arrivée des Européens.

Le potentiel de transfert aux plantes apparentées, plantes sauvages ou mauvaises herbes, est inexistant en Europe, parce qu'il n'existe pas sur ce continent d'espèces sauvages apparentées. Le téosinte est la seule espèce sauvage apparentée au maïs avec

laquelle le maïs puisse facilement avoir une pollinisation croisée. Le téosinte pousse au Mexique et au Guatemala, où on le rencontre souvent dans les champs de maïs. Comme il se croise volontiers avec le maïs et forme des hybrides fertiles, le potentiel de transfert de traits du maïs au téosinte est réel.

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

Les améliorations basées sur les modifications d'un seul gène seront particulièrement aisées grâce aux techniques nouvelles. L'application au maïs des nouvelles techniques en est encore à ses débuts. Il est vraisemblable qu'à l'avenir les techniques dites de recombinaison renforceront considérablement la capacité de créer de nouvelles variétés possédant des traits spécifiques. Toutefois, les techniques récentes facilitent d'ores et déjà l'analyse des lignées traditionnelles. En employant un procédé connu sous le nom de RFLP (restriction fragment length polymorphism), les sélectionneurs sont en mesure de faire l'empreinte génétique d'une plante. Une fois que la carte des gènes est établie et qu'ils sont identifiés, les spécialistes sont capables de lire la structure génétique de la plante. L'utilisation de RFLP permet une analyse plus rapide de la descendance désirable. Elle a également permis aux sociétés d'analyser les hybrides de leurs concurrents et d'apprendre lesquels d'entre eux sont génétiquement similaires, réduisant ainsi le nombre des hybrides qui doivent être semés pour les essais de comparaison des performances.

McClintock (1929), faisant appel à des études mitotiques, fut le premier à caractériser les dix chromosomes du maïs. Sa classification se fondait sur la longueur des chromosomes et la position du centromère. Actuellement, les recherches cytologiques portent sur les techniques de colorations des chromosomes, sur les mutants méiotiques, sur l'étude des chromosomes B, et enfin sur une meilleure compréhension des phénomènes intervenant en cours de synapsis. La catégorie de mutations cytologiques qui semble la plus intéressante aujourd'hui est celle qui se produit après la méiose. De nombreux mutants à stérilité mâle postméiotique ont été identifiés; ils sont généralement femelle-fertiles. La plupart de ces mutants ont un comportement récessif lorsqu'ils sont placés en situation hétérozygote. Ces mutants ont eu une extrême importance pour la production de semences commerciales. Entre 1950 et 1970, la stérilité mâle cytoplasmique de type Texas (SMC-T) a été utilisée pour remplacer la castration mécanique. En 1970, l'épidémie d'helminthosporiose s'est essentiellement produite à cause de la sensibilité créée par l'utilisation de ce caractère. Il a suffi d'un rapide retour au cytoplasme normal pour résoudre ce problème. Aujourd'hui, d'autres formes de stérilité mâle sont utilisées pour la production de semences (SMC-C et SMC-S). En 1987, 66 pour cent de la production de semences en Amérique du Nord a utilisé 100 pour cent de maïs à cytoplasme normal, 22 pour cent a utilisé du maïs à cytoplasme SMC-C et 12 pour cent a utilisé du maïs à cytoplasme SMC-S. Ainsi, on combine plusieurs techniques, afin d'éviter le type de situation survenu en 1970.

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

Le matériel génétique de maïs, muni des certificats phytosanitaires appropriés, circule librement dans tout l'hémisphère ouest (Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Sud et Europe). Certains pays, comme l'Italie, l'Espagne et le Portugal, exigent un certificat garantissant que les semences transportées sont indemnes de bactérioses telles que celle due à *Erwinia stewartii* (E.F. Smith). Les échanges de semences entre l'Afrique, l'Asie, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et les pays mentionnés ci-dessus

sont strictement contrôlés et nécessitent souvent une mise en quarantaine pendant une génération, afin de garantir qu'elles sont indemnes de maladie.

#### *f) Utilisations finales actuelles de la plante*

La plus grande part du maïs actuellement produit en Europe est vendue pour la nourriture du bétail. Le maïs fourrager est généralement rassemblé en vrac pour la vente plutôt que d'être vendu sur la base des caractéristiques de qualité du varié. C'est pourquoi les sélectionneurs de maïs fourrager concentrent leurs efforts sur l'amélioration de caractéristiques agronomiques tels que le rendement et la résistance aux maladies, aux insectes et à divers stress environnementaux. Une autre fraction importante du maïs produit en Europe est utilisée pour produire des édulcorants à haute teneur en fructose, de l'amidon et de l'huile de table. Certains programmes de sélection sont centrés sur l'amélioration ou la création de variétés de maïs spéciaux présentant des caractéristiques telles qu'une forte teneur en graisses polyinsaturées pour la production d'huile alimentaire; une production accrue d'huile pour la volaille et les porcs ou pour des usages industriels; une plus forte teneur de protéines ou une meilleure qualité des protéines (par exemple une teneur accrue de lysine); un amidon amélioré extractible par mouture humide; enfin, des qualités répondant aux normes de l'alimentation humaine à la mouture à sec. L'amélioration de la qualité des protéines, si elle n'exige pas de plus importantes pratiques de gestion, telles qu'une utilisation accrue d'engrais, peut être particulièrement précieuse dans les parties du monde où le maïs est en premier lieu une céréale alimentaire, par exemple le Mexique, l'Amérique centrale et des parties de l'Amérique du Sud, de la Chine et de l'Afrique.

### **Mécanismes de reproduction**

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

Durant la création de variétés dans les pépinières, toutes les pollinisations sont faites à la main. L'isolement génétique est maintenue en posant des sacs de papier sur les structures reproductives des plants ou en ôtant les panicules mâles des rangées femelles quand un mâle commun est présent. Pour l'autopollinisation, les sacs de papier sont posés à la fois sur le panicule mâle et sur les soies des épis des fleurs femelles. Au moment de la pollinisation, les soies peuvent être coupées pour exposer des soies nouvellement formées. Le pollen est prélevé sur les panicules et déposé sur les soies. Pour la pollinisation croisée, seules les soies des plants femelles et les panicules des plants mâles sont ensachées, ou bien les croisements sont réalisés dans des blocs isolés (200 à 400 m d'autres plantations de maïs).

Le maïs est une espèce monoïque possédant des fleurs pistillées sur les ramifications à épi, et des fleurs staminées sur la panicule (Kiesselbach, 1949). La tige principale de la plante se termine par une inflorescence staminée, ou panicule, qui produit les gamètes mâles. Chaque nœud au-dessus du sol peut former une ramification qui se terminera, en théorie, par une fleur pistillée, ou épi. En général, toutes les ramifications dégènèrent, sauf une, et c'est la ramification supérieure qui se développe aux dépens des ramifications inférieures. L'inflorescence staminée comprend de nombreux épillets portant les étamines. Les étamines (anthères) sont expulsées des organes protecteurs lorsque la maturation du pollen est complète. Le pollen, au cours de sa maturation dans les anthères,



produit des microspores aptes à la pollinisation. Les anthères expulsées se fendent à leur extrémité, libérant ainsi le pollen. Très peu de pollen sera perdu avant que la panicule soit remuée ou secouée par le vent. Le pollen est facilement transporté par le vent vers les plantes adjacentes. Chaque plante peut produire plus de 15 millions de microspores de pollen. L'inflorescence pistillée se développe au niveau d'un bourgeon axillaire. Comme il a été indiqué plus haut, un à deux bourgeons vont dominer, tandis que tous les autres vont dégénérer. Chaque épillet contient deux fleurs, dont une donnera un grain. C'est pour cette raison que les grains sont produits en doubles rangs, et qu'il y a toujours un nombre pair de rangées de grains sur les épis. Le style de la fleur, ou soie, se développe à partir du fleuron, dont il sortira afin d'être pollinisé. Le pollen est capturé par la soie, et l'humidité qu'il en reçoit provoque sa germination et la formation du tube pollinique. Le tube pollinique gagne le micropyle, puis continue jusqu'au sac embryonnaire, où la fécondation a lieu.

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

La probabilité de voir le maïs, à la suite de manipulations, se faire lui-même une place dans la flore sauvage, est pratiquement nulle. Il est possible qu'à la suite de manipulations, la probabilité de voir apparaître des plantes accidentelles augmente, mais cette possibilité ne serait qu'une fonction des pratiques culturales utilisées pour éviter ou contrôler leur apparition. Si, par exemple, elles sont contrôlées au moyen d'un herbicide et que le maïs ait été rendu résistant à cet herbicide, il faudra recourir à un herbicide différent ou à une autre pratique. La pratique commune d'assolement faisant alterner, par exemple, le soja et le maïs dans le même champ, permet d'éviter les problèmes des plantes accidentelles de maïs, et, de plus, donne de meilleurs rendements de maïs.

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

Puisque le risque de transfert est réel, il devient important d'analyser si un caractère particulier causerait un problème important s'il était transféré au téosinte. Le taux probable de transfert au téosinte et le taux probable de dispersion à travers la population de téosinte après le transfert sont des paramètres importants pour le calcul de l'importance potentielle de ce transfert.

Si, par exemple, la résistance à un herbicide était transférée, on souhaiterait savoir si la résistance pourrait être sélectionnée dans la population de téosinte en général. Si l'herbicide n'était pas utilisé à l'intérieur de l'environnement agricole, le caractère pourrait devenir important ou largement répandu seulement à l'intérieur de l'environnement agricole. Si tel était le cas, il faudrait examiner si une telle résistance poserait un problème aux exploitations agricoles. Par exemple, si la résistance à un herbicide spécifique était introduite dans le maïs afin de tuer sélectivement le téosinte dans les champs de maïs, le transfert de cette résistance au téosinte serait indésirable, bien qu'il puisse simplement laisser la situation inchangée. On pourrait se demander alors si le coût de l'introduction de la résistance serait justifié, compte tenu des estimations données de la probabilité, de la fréquence et du calendrier du transfert de la résistance au téosinte, ainsi que des coûts des autres moyens d'élimination du téosinte, tels que le sarclage mécanique.

Si le nouveau caractère est la résistance à un agent pathogène, on pourrait effectuer une analyse similaire en se concentrant sur l'importance probable du transfert de ce

caractère au téosinte. Si l'agent pathogène est un facteur essentiel de contrôle de la survie ou de la dispersion du téosinte, la résistance à cet agent pourrait affecter considérablement la compétitivité environnementale de la plante. Si, d'autre part, l'agent pathogène ne joue pas un rôle essentiel dans le contrôle du téosinte, le transfert de ce caractère aurait vraisemblablement un faible impact environnemental.

### **Considérations concernant l'environnement**

Les caractères de résistance aux maladies et aux parasites, y compris les traits introduits par des méthodes moléculaires à partir de diverses sources, posent des problèmes supplémentaires, tels que le potentiel de sélection et le développement postérieur de parasites résistant aux pesticides. Ces problèmes ont été traités à maintes reprises dans le passé pour de nombreux caractères introduits conventionnellement. Il est important de garder présents à l'esprit les problèmes de risque et d'avantage concernant l'utilisation de ces caractères dans les plantes pour remplacer d'autres pratiques de lutte contre les parasites, telles que la pulvérisation de pesticides chimiques et l'emploi des pratiques de lutte non chimiques.

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

Le maïs est principalement limité par son incapacité à croître dans des conditions de très basse température. La distribution mondiale du maïs s'étend essentiellement de l'équateur à une latitude de 45°. On développe actuellement des zones de la Fédération de Russie (56° N) pour y cultiver des hybrides de maïs destinés au bétail (fourrage vert). Pour survivre, le maïs a besoin d'un niveau suffisant de pluie ou d'irrigation. La limite inférieure au cours de la période de croissance est de l'ordre de 40 cm. Dans des climats plus secs, le maïs est souvent remplacé par le sorgho (*Sorghum bicolor* L.).

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

Il y a environ 100 programmes de sélection du maïs en cours d'exécution en Europe. La semence de maïs est produite presque exclusivement par des sélectionneurs commerciaux. La création de nouvelles lignées consanguines de maïs hybride est dominée par les sélectionneurs commerciaux, mais les sociétés de semence de base développent aussi des lignées consanguines qu'elles louent à des sociétés commerciales pour servir à la production d'hybrides ou à la sélection. Des institutions publiques développent des lignées consanguines qui sont ensuite utilisées par des sélectionneurs commerciaux pour leurs programmes de sélection, mais cette source est moins importante qu'elle ne l'était il y a vingt ans. Une grande société commerciale peut vendre de 20 à 50 variétés hybrides différents, dont chacun a ses propres avantages et ses propres inconvénients en fonction des différents climats, des types de sol, de l'incidence des insectes et des maladies. Toutefois, à l'exception des variétés spéciaux et de qualité alimentaire, les semences récoltées des différents variétés sont toutes mises en vrac et vendues comme dent jaune (yellow dent) n° 2 pour l'alimentation du bétail, la transformation industrielle et l'exportation.

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

### i) *La sélection à partir d'une lignée parentale*

Les cinq ou six premières générations ( $F_5$  ou  $F_6$ ) de sélection et de purification se déroulent essentiellement dans les pépinières des sélectionneurs. Le testage du rendement d'hybrides expérimentaux est effectué en deux à cinq sites de la zone desservie par le sélectionneur. Des milliers de lignées génétiquement distinctes sont cultivées l'une à côté de l'autre ; l'isolement génétique est maintenue, et considérée suffisante pour des besoins de sélection, en ensachant les structures reproductives des plants. En n'importe quelle saison, une pépinière peut avoir quelque 20 000 rangées, environ dix ha, consacrées à tous les stades de développement de lignées consanguines et de production d'hybrides. Les lignées seront évaluées du point de vue des caractères parentaux, de la résistance aux maladies et de la résistance aux insectes ; en combinaison hybride, elles seront évaluées pour déterminer laquelle possède le plus important potentiel génétique. Aux stades  $F_3$  à  $F_8$ , les lignées seront largement testées du point de vue de leurs propriétés en tant que parents d'un hybride. Elles sont croisées dans les pépinières avec des lignées d'élite connues. Les graines obtenues sont semées sur de petites parcelles de deux rangées en divers points des stations de sélection et dans des exploitations proches des stations de sélection. Comme les parcelles de testage sont destinées à l'évaluation de la performance et non à la production de semences pures, il n'est pas nécessaire d'isoler les plants. L'isolement a pour objet d'empêcher la contamination des graines d'essai nécessaires au processus ultérieur de sélection. Les parcelles d'essai utilisées aux fins d'évaluation peuvent être pollinisées librement car les graines seront détruites.

Pour hâter le développement, une ou deux générations autofécondées sont fréquemment plantées dans des pépinières d'hiver dans une zone tropicale ou subtropicale : Hawaï, le Chili, la Floride du Sud, Porto Rico, le Mexique ou la Nouvelle-Zélande. Ces pépinières peuvent également être utilisées pour produire des semences servant aux tests de rendement et au travail de sélection ultérieur.

### ii) *La sélection par hybridation*

Les lignées jugées prometteuses sont alors croisées avec diverses autres lignées afin de découvrir de bonnes combinaisons d'hybrides. Les semences sont soumises à des essais de performance dans différentes parties du pays pendant deux à quatre ans, ce qui permet de les exposer à des conditions environnementales variées. Un vaste programme de sélection peut comporter quelque 35 000 parcelles, soit au total 30 ha, d'essais de rendement d'hybrides avancés, les trois quarts étant ensemencés dans des champs commerciaux situés à une distance de 50 à 100 km de la station de sélection commerciale du maïs. Le produit récolté lors de ces essais est habituellement laissé à l'agriculteur pour être utilisé pour l'alimentation des animaux de l'exploitation. Au stade  $F_9$ , les nouveaux hybrides réussis seront testés sur des bandes de huit rangées dans un nombre d'exploitations qui peut atteindre plusieurs centaines. De deux à trois hybrides peuvent être semés dans les exploitations commerciales sur l'ensemble de l'aire géographique visée par le programme de sélection. Ces hybrides sont évalués dans des essais sur bandes et dans l'exploitation la première année, et ils sont produits pour la vente et pour des nouveaux essais sur bande l'année suivante. Le volume de la production est contrôlé. Le maïs récolté dans la parcelle d'essai est mélangé à d'autres maïs pour la vente.

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

La création de nouveaux hybrides commerciaux peut être divisée en deux parties. En premier lieu, les sélectionneurs doivent établir des lignées d'un phénotype homogène présentant les caractéristiques de croissance souhaitées : résistance aux différents facteurs de stress, durée de la croissance jusqu'à maturité, rendement, qualité comme parents, etc. En même temps, les lignées doivent être testées en diverses combinaisons pour trouver des hybrides propres à la commercialisation. Un sélectionneur peut évaluer quelque 50 000 lignées génétiquement distinctes par an. A la fin des évaluations, de six à dix années plus tard, une ou deux nouvelles lignées consanguines seront peut-être disponibles pour être utilisées comme parent dans un hybride commercial.

Durant les générations autofécondées (processus de purification), les plants sont soumis à des tests de résistance aux stress. Les lignées parentales des nouveaux hybrides doivent faire preuve d'un bon rendement dans des conditions de croissance variées. On peut inoculer aux plants des œufs de pyrale du maïs, des spores de charbon de la feuille ou des virus communs du maïs, en fonction des maladies et des insectes auxquels le maïs est exposé dans la zone desservie. Des tests sont également pratiqués pour évaluer la tolérance aux stress environnementaux, tels que la sécheresse et le froid.

Les techniques de sélection traditionnelles ont permis de créer des lignées possédant la résistance à des agents pathogènes tels que la pyrale du maïs de la première et de la seconde génération ainsi que le charbon foliaire du nord et du sud, la tolérance aux herbicides et des caractéristiques de production de grains améliorées.

Si un hybride a un rendement notablement plus élevé dans des conditions optimales que d'autres variétés vendues commercialement, les sélectionneurs peuvent tolérer des pertes un peu plus importantes dans certaines conditions de stress, mais la stabilité de la performance à travers diverses conditions d'environnement est très importante. Cependant, les facteurs que les agriculteurs (et par conséquent les sélectionneurs) ont tendance à remarquer et à apprécier défavorablement sont les pertes dans des conditions de stress prévisibles, l'incapacité à germer convenablement et la chute précoce des épis. Étant donné la nature hautement concurrentielle du secteur de la production de semences de maïs, un sélectionneur ne peut pas se permettre des différences sensibles dans le rendement global. C'est pourquoi le rendement dans des conditions de stress est un facteur très important. Quelque 3 000 rangées (environ 15 ha) peuvent être utilisées pour l'observation continue des stress. Les hybrides sont largement testés à travers une vaste gamme de niveaux de rendement pour déterminer ceux qui donnent systématiquement des rendements plus élevés à travers la série de conditions d'environnement auxquelles l'agriculteur peut s'attendre.

## ***c) Tests pour les principaux résultats de la sélection***

Des tests pour la sécheresse et le froid sont effectués en utilisant des dispositifs de blocs randomisés, ou de blocs randomisés emboîtés. Dans ce dernier cas, les régions situées à l'intérieur d'un bloc sont plantées de plants de même hauteur pour éviter les problèmes d'ombrage. A l'intérieur d'une case de blocs emboîtés, les plants sont distribués au hasard.

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

### ***a) Étapes de la production***

Une fois une lignée parentale établie, une quantité de semence uniforme pure aura été fournie pour accroître la base de semence. Une quantité de la lignée génétiquement pure sera alors constamment la source fixe pour les croisements consanguins. L'augmentation de la base sera récoltée pendant environ trois générations pour éviter la déviation génétique.

Dès qu'une quantité suffisante de semence d'un hybride a été produite pour les essais de performance, la semence n'est plus produite par pollinisation à la main. Pour produire de la semence pour les premiers tests sur bandes de terrain, de petits champs isolés d'un à cinq ha sont plantés avec des lignées adjacentes du parent de race pure (c'est-à-dire quatre rangées femelles pour une rangée mâle. Les rangées femelles seront systématiquement dépouillées des panicules mâles et le bloc sera isolé d'autres plantations de maïs, en respectant une distance minimale de 200 à 400 m.

Pour les tests plus étendus sur bandes et l'introduction commerciale, de une à quelques centaines d'acres seront plantées par des agriculteurs sous contrat commercial pour produire la semence  $F_1$ . Une pratique commune consiste à alterner quatre rangées de lignées femelle avec une rangée de lignée mâle. Les plants femelles sont dépouillés de leurs panicules mâles pour éviter l'autofécondation.

### ***b) Pratiques d'isolement dans la création variétale***

Une pratique admise consiste à isoler de 200 m les champs pour la production de semence de base. La distance peut être diminuée s'il y a des rangées adéquates de plants mâles entourant le champ.

Le potentiel de transfert génétique à d'autres plants de maïs est insignifiant en Europe, parce que la grande majorité du maïs cultivé commercialement est hybride. C'est pourquoi l'agriculteur ne garde pas de la semence pour la campagne suivante, et les transferts de pollen ne sont pas transmis aux générations futures. Le sélectionneur commercial applique des procédés d'isolation pour maintenir la pureté génétique de ses lignées de base. Il est peu vraisemblable que de nouvelles lignées exigent l'emploi de nouveaux procédés d'isolement. Dans l'hypothèse improbable où le cas se présenterait, les sélectionneurs prendraient les mesures nécessaires pour s'y adapter.

### ***c) Évaluation des variétés hybrides expérimentales***

Dans les tests initiaux sur bandes, la semence sera distribuée à 50 à 600 agriculteurs, qui la sèmeront à côté d'hybrides favoris sur une bande de quatre ou douze rangées de largeur. Les agriculteurs peuvent consacrer un ou deux ha à la plantation d'hybrides expérimentaux. Dans les tests plus tardifs sur bandes, l'hybride sera planté sur des milliers de telles bandes, en même temps qu'il commencera à être commercialisé comme semence hybride. Étant donné que la semence commerciale est vendue comme hybride  $F_1$  spécifique, il faut veiller avec beaucoup de soin à éviter non seulement que la semence ne soit contaminée par des lignées étrangères, mais aussi qu'elle ne soit contaminée par son propre parent femelle. C'est pourquoi les lignées désignées comme femelles doivent être dépouillées de leurs panicules ou rendues mâles-stériles. L'enlèvement des panicules est

la principale méthode, utilisée sur 60 à 80 pour cent du maïs hybride européen. L'opération peut être faite à la main et/ou mécaniquement.

**d) *Certification de la semence***

En Europe, la plupart des nouveaux variétés sont créés par des sélectionneurs commerciaux. Ils sont soumis à une certification officielle ; celle-ci exige normalement que les hybrides soient évalués pendant de deux à quatre années de testage pour déterminer leur performance, leur pureté parentale et leur stabilité. C'est pourquoi, avant de soumettre les nouveaux hybrides aux autorités compétentes, les sociétés les soumettent à des essais approfondis, en les comparant pendant deux à trois ans à leurs propres hybrides et à ceux de leurs concurrents dans de nombreux environnements. C'est une pratique commune pour les services officiels d'effectuer des essais d'hybrides commerciaux vendus dans leur pays et pour les agriculteurs de tester des échantillons de semence avant d'ensemencer de vastes superficies. Cette surveillance se poursuit après l'enregistrement, exercée tant par les autorités que par les sélectionneurs, pour garantir que la performance est conforme à ce que l'on attendait.

**e) *Surveillance de la production des semences***

Pour la vente des semences, des normes de pureté sont établies pour chaque pays. La plupart des sociétés fixent des normes empêchant la vente de semences qui résultent à raison de 5 à 6 pour cent ou plus d'autofécondation ou à raison de 6 à 8 pour cent ou plus d'autofécondation ou de fécondation par des plants variants indésirables. Ainsi, la norme vise plutôt à obtenir la pureté génétique qu'à assurer un certain pourcentage de semence pure (comme dans le cas d'autres céréales, du soja et des graminées fourragères).

**f) *Durée de vie des variétés et adoption par les cultivateurs***

La durée commerciale moyenne d'un variété de maïs est de cinq à dix années, en raison surtout de l'introduction continue de nouveaux variétés d'un rendement progressivement amélioré. Le rendement moyen a augmenté d'environ 1 pour cent par an depuis les années 30, et continue d'augmenter à raison de 1.5 à 2 pour cent par an. Presque toutes les semences de maïs vendues en Europe sont hybrides, et 70 pour cent d'entre elles sont des hybrides de croisement simple. La graine  $F_1$  donne un rendement bien plus élevé que les générations suivantes ; c'est pourquoi l'agriculteur se réapprovisionne chaque année en semence  $F_1$  plutôt que d'utiliser ses propres semences  $F_2$ .

## Références

- GALINAT, W.C. (1983), «The origin of maize as shown by key morphological traits of its ancestor, teosinte», *Maydica*, n° 28, pp. 121-138.
- KIESSELBACK, T.A. (1949), *The Structure and Reproduction of Corn*, Nebraska Agricultural Experimental Station Research Bulletin.
- McCLINTOCK, B. (1929), «Chromosome morphology in *Zea mays*», *Science*, n° 69, p. 629.
- McCLINTOCK, B. (1959), «Chromosome constitution of Mexican and Guatemalan races of maize», *Annual Report of the Department of Genetics, Carnegie Institute*, Washington, n° 59, pp. 461-472.
- POEHLMAN, J.M. (1979), *Breeding Field Crops*, 2<sup>e</sup> éd., Avi Publ. Co., Inc., Westport, Connecticut, pp. 277-320.
- RANDOLPH, L.F. (1959), «The origin of maize», *Indiana Journal of Genetic Plant Breeding*, n° 19, pp. 1-12.
- TOWNSEND, R. (sous presse), *A Case Study for Product Development : Corn*.
- WYCH, R.D. (1988), «Production of hybrid seed corn», *Corn and Corn Improvement*, Agronomy Monograph n° 18, 3<sup>e</sup> éd., pp. 565-607.