

-PN-ABE - 345 6485

Manuel pour la sélection du sorgho

Deuxième édition

International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

Manuel pour la sélection du sorgho

Deuxième édition

Leland R. House

1987



ICRISAT

**International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
ICRISAT Patancheru P.O.
Andhra Pradesh 502 324, Inde**

101

Référence exacte : House, L.R. 1987. Manuel pour la sélection du sorgho. Deuxième édition. Patancheru, A.P. 502 324, Inde : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Traduit de l'anglais sous la direction de Mlle J. Constant, Institut des recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (IRAT), Nogent-sur-Marne, France.

L'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, ICRISAT) est un institut scientifique à vocation éducative, à but non lucratif, financé par de nombreux donateurs regroupés au sein du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale. Les donateurs de l'ICRISAT sont les gouvernements ou agences gouvernementales d'Australie, Belgique, Canada, Etats-Unis, Finlande, France, Inde, Italie, Japon, Nigéria, Norvège, Pays-Bas, République fédérale d'Allemagne, République populaire de Chine, Royaume-Uni, Suède et Suisse, ainsi que les organismes internationaux et privés suivants : Banque arabe pour le développement économique en Afrique, Banque asiatique de développement, Banque mondiale, Centre de recherche pour le développement international, Centre international pour le développement des engrais, Communauté économique européenne, Conseil de la population, Fondation Ford, Fondation Rockefeller, Fonds de l'OPEP pour le développement international, Fonds international de développement agricole, Leverhulme Trust et Programme des Nations Unies pour le développement. Les informations et les conclusions contenues dans cette publication ne reflètent pas forcément la position des gouvernements, des agences et des organismes internationaux et privés précités.

Les désignations utilisées ainsi que la présentation du contenu de cette publication ne comportent l'expression d'aucune opinion quoi que ce soit de la part de l'ICRISAT, à l'égard du statut légal de tout pays, territoire, ville ou région, ou de ses pouvoirs publics, ou bien à l'égard de la délimitation de ses frontières ou de ses limites.

ISBN 92-9066-085-6

v

Table des matières

Préface *vii*

Remerciements *viii*

Avant-Propos *ix*

Première partie

**Le sorgho—utilisations,
caractéristiques, distribution**

Utilisation du sorgho 1

Caractéristiques essentielles 2

Potentiel de rendement 2

Adaptabilité 2

Réponse aux engrais 2

Le facteur hydrique 2

Le facteur température 3

Défense des cultures 3

Données sur la production actuelle 3

Domestication du sorgho 4

Origine 4

Les débuts de la dispersion géographique 5

Taxonomie 5

Classification des espèces 5

Sorghos cultivés 8

Sorghos sauvages 10

Bibliographie 12

Deuxième partie

**Le sorgho—stades
de croissance et morphologie**

Stades de croissance 13

Phase végétative 13

Germination et développement
de la plantule 13

Phase reproductive 13

Développement de l'inflorescence
et fécondation 13

Phase de maturation 14

Développement de la graine 14

Morphologie du sorgho 15

Racines 15

Chaumes 15

Feuilles 15

Inflorescence 17

Panicule 17

Racème 17

Troisième partie

Génétique

Génétique fondamentale 29

Variation biologique 29

Les bases de l'hérédité 30

Mitose 31

Phases de la mitose 31

Méiose 33

Phases de la méiose 35

Gamétogenèse et fécondation 35

Fécondation 37

Hérédité monofactorielle 37

Lois fondamentales 37

Symboles 38

Allèles 39

Phénotypes intermédiaires 39

Ségrégation 40

Croisement d'épreuve (Testcross) 40

Réduction de l'hétérozygotie par
autofécondation 40

Rétrocroisement 41

Assortiment indépendant 43

Ségrégation dihybride 43

Croisement d'épreuve des dihybrides 44

Linkage	45
Liaisons géniques	45
Crossing-over	45
Carte chromosomique	45
Gènes pléiotropiques	47
Hérédité pour deux facteurs	47
Mutation	49
Mutations chromosomiques	49
Mutations géniques	50
Mutation induite	50
Ploïdie	51
Aneuploïdes	51
Euploïdes	51
Hérédité chez les polyploïdes	52
Hérédité quantitative	53
Variation due au milieu	53
Variation due au génotype	54
Action additive, de dominance et épistatique des gènes	55
Génétique des populations : Fréquence et équilibre géniques	56
Fréquence génique	56
La loi de Hardy-Weinberg	57
Facteurs modifiant la fréquence génique	60
Sélection	61
Mutation	66
Effets conjoints de la sélection et de la mutation	67
Subdivision et migration	67
Petites populations et taille efficace des populations	68
Résumé	69
Génétique du sorgho	69
Génétique de la maturité	69
Effet de la photopériode sur la floraison	70
Génétique de la hauteur	74
Autres caractères génétiques intéressants	74
Bibliographie	77

Quatrième partie

Amélioration du sorgho— procédés et méthodes

Quelques notions de travail de base 80

Les collections mondiales de sorgho et de mil 81

 Introduction 81

 Sujets restant à étudier 83

 Types de collection dont la création est recommandée 83

Nomenclature des pedigrees et des cultivars 85

 Systèmes pedigrees 85

 Pratiques courantes et enregistrement 85

 Nomenclature pour les hybridations 91

 Rétrocroisement 91

 Croisements en vue de la création de matériel végétal pour la sélection de lignées nouvelles 93

 Croisements dans le cadre d'un programme d'hybridations 93

 Nomenclature pour les lignées et les hybrides à vulgariser 95

Objectifs et méthodes de croisements 97

 Sélection généalogique 97

 Méthodes de pollinisation 97

 Sélection généalogique 98

 Méthode d'acquisition des données 98

 Sélection 100

 L'hybridation du sorgho 102

 Choix des parents pour l'hybridation 102

 Facteurs influençant la longueur de la période allant du semis à la floraison 102

 Choix du terrain 104

 Dose de semis 104

 Croisements ne faisant pas appel à la stérilité mâle 104

 Castration manuelle 105

 Matériel nécessaire 105

 Structure des fleurs 106

 Castration 106

di

Castration à l'eau chaude et technique du sac plastique	107	Facteurs du milieu affectant la qualité du grain	156
Pollinisation	107	Techniques de travail au champ	156
Documents de travail	112	Conduite de la culture	156
Parcelles de croisements pour la réalisation de semences hybrides à partir de parents femelles mâles-stériles	122	Dispositifs expérimentaux au champ	158
Lignées A, B et R	122	Documents pour l'enregistrement des données	159
Obtention de quantités correctes de semences hybrides	122	Étiquettes de rangs	161
Décisions opérationnelles	122	Cabane de terrain	165
Création de nouveaux parents mâles-stériles	125	Bibliographie	165
Croisement en grandes parcelles isolées et en pollinisation libre	127	Cinquième partie	
Production de semences	127	L'industrie semencière—son rôle, son organisation et son développement	
Données sur les dates de floraison	128	Le rôle d'une industrie semencière bien organisée	168
Composites	128	Qu'est-ce qu'une industrie semencière?	168
Désignation des populations de sorgho par des symboles	130	Production de semences	169
Techniques de sélection	130	Organisation de l'industrie	170
Sélection pour la résistance aux insectes et aux maladies	138	Programme de production et de distribution de semences de qualité	172
Mode d'hérédité et processus de sélection	138	Mise en oeuvre de ces conditions fondamentales	173
Facilité d'identification des caractères	141	Bibliographie	179
Intensité de la sélection	142	Développement d'une industrie semencière	180
Facteurs dépendant du milieu	142	Responsabilités du gouvernement	181
Techniques de criblage	143	Responsabilités des producteurs de semences	183
Résistance aux insectes	143	Annexe 1	
Maladies	146	La législation semencière	185
<i>Striga</i>	147	Mise sur pied d'une législation semencière type	185
Etablissement de la culture	149	Mise sur pied d'une agence d'exécution de la loi	186
Sélection en vue de la qualité alimentaire	150	Bureau semencier officiel	186
Moisissures des grains	150	Laboratoire officiel d'essai des semences	186
Évaluation de la qualité alimentaire	151	Inspecteurs officiels	186
Critères relatifs à la qualité alimentaire du point de vue du consommateur	151	Besoins financiers	187
Critères de sélection pour la qualité du "roti"	155	Directives pour la création d'une agence de certification des semences	187

21

Fonctions de l'Agence de certification des semences	188
Politique semencière à long terme	189
Responsabilités majeures du gouvernement central	190
Responsabilités majeures des autorités du district, de la province ou des Etats	190
Rôle jouable par l'industrie des semences	190
La Commission de diffusion des variétés	191
L'Agence pour la conservation des semences de base	191

Annexe 2

Descripteurs du sorgho	195
Identification de l'entrée	195
Données des collections au champ	195
Données d'évaluation taxonomique et morphologique	197
Données d'évaluation agronomique	199
Données d'évaluation de résistance aux ennemis de la culture	203
Données d'évaluation de résistance aux maladies	206
Divers	208

Glossaire 209

Index 225



Préface

Depuis des temps immémoriaux le sorgho a constitué une source d'alimentation vitale pour des millions d'hommes; il est même souvent dans les zones tropicales semi-arides un élément essentiel de survie. Dernièrement, l'expansion démographique a entraîné un accroissement de la demande. Mais dans ces régions qui contribuent pour plus de la moitié à la production mondiale, les conditions de milieu en limitent grandement les rendements.

Le petit cultivateur est le premier à ressentir cette pression d'une demande accrue et d'un approvisionnement limité. Grâce à leurs recherches les spécialistes des céréales ont permis de réaliser des progrès importants en matière de rendement pour le riz et le blé avec la création de nouvelles variétés associée à une nouvelle technologie, mais la plupart des progrès enregistrés l'ont été là où les conditions de culture étaient favorables. Améliorer les rendements du sorgho est une tâche plus difficile. Le sorgho est, en effet, souvent cultivé sur des sols plus pauvres par des paysans disposant de moyens très limités pour la maîtrise de l'eau, la fertilisation et autres facteurs de production indispensables à l'augmentation des rendements. Or, en tant que culture, le sorgho présente des qualités reconnues de versatilité, de rusticité, de sûreté et de stabilité des rendements en conditions très défavorables. Ayant fait preuve d'adaptabilité dans toute une gamme de conditions de culture et de climat, cette plante offre d'énormes possibilités pour l'accroissement des ressources alimentaires mondiales.

Pour des millions d'hommes, le sorgho constitue maintenant un aliment de base (*chapati* ou *roti* en Inde, *injera* en Ethiopie, *tortillas* en Amérique Latine, etc.). Il est également utilisé pour l'alimentation animale et comme matière première dans l'industrie. D'autres utilisations sont possibles, comme pour la fabrication de la bière et la préparation d'autres boissons locales; de plus, ses tiges peuvent servir de fourrage, de combustible, de matériau pour la construction d'abris, ainsi qu'à la production de sucre et de sirop.

Etant donné sa place dans l'alimentation de millions d'hommes parmi les plus pauvres dans les zones tropicales semi-arides et son potentiel de production élevé pour nourrir les sous-alimentés des pays en voie de développement, le sorgho est l'une des cinq cultures dont l'amélioration a été confiée à l'ICRISAT. M. Leland House, ex-chef du programme sorgho à l'ICRISAT, et actuellement chef du Projet SADCC/ICRISAT d'amélioration des céréales dans les pays d'Afrique australe, s'est basé, pour rédiger ce livre sur *Sorghum bicolor* (L.) Moench, sur une expérience et des connaissances acquises depuis 25 ans environ auprès de nombreux experts et d'organisations dans le monde entier.

Nous espérons qu'un tel ouvrage se révélera un guide précieux, plus particulièrement pour les jeunes agronomes et les techniciens qualifiés, en favorisant l'amélioration de cette culture si importante pour la santé et le bien-être de millions d'êtres humains.

L.D. Swindale
Directeur général

Remerciements

La rédaction de cet ouvrage a été entreprise il y a plusieurs années; elle a commencé en Inde dans le cadre du Programme agricole indien (IAP) de la Fondation Rockefeller. Le personnel de ce programme a participé au Projet coordonné indien sur l'amélioration du sorgho du Conseil indien de la recherche agricole (ICAR). De nombreuses photographies proviennent des stations du programme ICAR et des stations des Ministères de l'agriculture des différents Etats de l'Inde. La cinquième partie sur l'industrie des semences est inspirée des documents rédigés par MM. Guy B. Baird, Johnson E. Douglas, Wayne H. Freeman et Leland R. House, dans le cadre de l'IAP.

Ce livre a également bénéficié de l'effort de formation du Programme de développement agricole des terres arides (ALAD) de la Fondation Ford. Une partie importante de la section sur la génétique a été rédigée par M. Geoff Hawtin, alors membre du Centre de recherches pour le développement international (CRDI) du Canada, affecté à l'ALAD, et présentement à l'ICARDA, Aleppo, Syrie.

Nous avons fort apprécié l'utile contribution de M. L.J.G. van der Maesen à la partie sur la taxonomie et celle de M. J.P. Moss pour sa révision de la partie "génétique fondamentale," dans cette seconde édition ainsi que les importantes contributions des chercheurs du Programme d'amélioration du sorgho de l'ICRISAT aux nouveaux chapitres sur la mise au point des techniques de criblage et sur la sélection en vue de la qualité alimentaire de la quatrième partie.

Nous désirons aussi remercier tout particulièrement MM. Robert C. Lommasson, Kit W. Lee et le programme de physiologie du sorgho de l'Université du Nebraska qui ont bien voulu fournir les photographies et plus spécialement les planches des photographies sur le développement des bourgeons floraux et des panicules.

M. Jim Bemis, rédacteur au CIMMYT, a apporté une contribution importante à la première édition de cet ouvrage en 1979, alors qu'il était en poste à l'ICRISAT, de même que Mme Gloria Rosenberg, rédactrice scientifique à l'ICRISAT pour la deuxième édition. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance également au personnel des Services de l'information de l'ICRISAT qui ont apporté leur aide précieuse dans la préparation finale et le tirage des deux éditions de ce livre et à Mlle J. Constant, traductrice à l'IRAT, qui a dirigé la réalisation soignée de la traduction en français de cet ouvrage. Nous voulons aussi remercier l'ICRISAT qui, par son soutien financier et institutionnel a permis que cet ouvrage existe.

Le concours des personnes et des institutions et organismes mentionnés ci-dessus ainsi que celui de nombreux autres non cités devraient faire de ce livre une contribution à l'amélioration du sorgho.

L. R. H.



Avant-Propos

Le contenu et le plan de ce manuel ont été mis au point après plusieurs années d'utilisation sur le terrain sous sa forme provisoire; il a été modifié et enrichi à partir de cette expérience.

Il ne présente aucune réalisation rapide et spectaculaire, pas plus que de formules établies garantissant une production parfaite. Ses principaux objectifs sont plutôt d'apporter des références de travail pour l'identification des problèmes et l'analyse descriptive fondamentale grâce à des exemples concrets de la théorie de la sélection appliquée au champ. Une approche de sélection systématique est recommandée. Cet ouvrage s'adresse aux spécialistes de cette culture, aux techniciens de terrain, aux chercheurs, et aux étudiants intéressés par l'amélioration du sorgho orientée vers la culture au champ. Nous espérons que ces lecteurs ainsi que les divers responsables de la programmation au plan national y trouveront une perspective élargie pour l'analyse et la structuration de leurs travaux d'amélioration sur cette culture.

Cinq sujets principaux sont traités : la première partie est surtout descriptive, présentant la situation actuelle concernant le sorgho et certaines de ses caractéristiques fondamentales. Une partie de l'histoire du sorgho y est brièvement évoquée, et les différents systèmes de classification sont recensés, accompagnés d'informations sur sa répartition dans le monde.

La deuxième partie est consacrée à la plante, à ses différents stades de croissance et à sa morphologie. L'accent est surtout mis sur son développement du stade de la graine à celui de la maturité. Les caractéristiques particulières du sorgho sont indiquées, plus particulièrement celles intéressant les sélectionneurs du sorgho.

La troisième partie présente un aperçu assez détaillé de la génétique de la plante du point de vue du technicien de terrain. L'accent est mis sur les utilisations de la génétique comme outil de travail. La génétique du sorgho complète ce chapitre.

La quatrième partie aborde directement les méthodes et les procédés de base de l'amélioration des plantes cultivées—les collections mondiales de sorgho et leur utilisation, la nomenclature des pedigrees, les techniques au champ pour les croisements de sorgho, les techniques de criblage en fonction des différents facteurs limitants du rendement et la sélection en vue de la qualité alimentaire.

Dans la cinquième partie, le sujet est élargi au rôle, au schéma d'organisation et aux plans de fonctionnement de la production et de la distribution de semences de qualité. L'objectif de ce chapitre est de montrer aux spécialistes de l'amélioration les moyens d'intégrer leurs travaux—de la recherche et du développement au cultivateur, en passant par la production et la commercialisation de semences de qualité.

Comme nous l'avons indiqué, les premières versions de cet ouvrage ont été utilisées pendant plusieurs années pour la formation et l'auteur est conscient de ses limites pour couvrir un sujet aussi vaste. Quelques citations et références sont présentées, le lecteur est toutefois invité à consulter, entre autres, les

deux bibliographies publiées sur le sorgho par le Centre d'information sur le sorgho et les mils de l'ICRISAT.

Tout commentaire ou critique de la part des lecteurs utiles pour des révisions ultérieures ou des suppléments sont vivement encouragés. Tous ceux travaillant activement dans le domaine de la production et de la recherche pourront apporter une fructueuse contribution à de futures publications destinées à une application sur le terrain.

Première partie

Le sorgho

Utilisations, caractéristiques, distribution

Le but de cette première partie est de montrer quelles sont les utilisations de la plante, d'indiquer où elle croît, en précisant les climats et sa distribution géographique, et quelles sont sa production, son origine et sa classification. L'étude ne prétend pas être exhaustive; la classification change avec le temps et il n'existe pas, parmi les sélectionneurs de sorgho, de consensus général sur un système de classification; en revanche, les divergences ne sont pas énormes. Les connaissances sur l'origine et la distribution du sorgho s'étendent chaque année. Cette étude tente d'initier le lecteur au sorgho, l'accent étant mis sur les informations intéressantes pour les sélectionneurs.

Utilisations du sorgho

Le grain de sorgho est utilisé en alimentations humaine et animale; la tige et les feuilles sont utilisées comme fourrage, soit pâturé, soit haché en vert, soit ensilé, soit séché en foin. Dans certaines régions on utilise les tiges comme matériau de construction, et les résidus, après la récolte des panicoles, peuvent servir de combustible.

Un pain sans levain confectionné à partir de la farine extraite du grain est un des aliments les plus courants préparés à partir du sorgho. Parfois la pâte est fermentée avant que le pain soit confectionné. En général, pour cette utilisation on souhaite un grain blanc, dur, corné. On prépare aussi par ébullition dans l'eau du porridge ou des gruaux. Dans de nombreuses régions d'Afrique on fabrique de la bière avec le grain, souvent avec des grains de couleurs diverses. Il existe des sorghos ("pop" et doux) dont le grain peut être grillé et mangé. Ces sorghos spéciaux sont fréquemment cultivés en bordure de grands champs.

Le grain de sorgho de qualité est ordinairement dur (vitreux), blanc avec un éclat nacré, bien rempli, gros et arrondi; le tégument séminal (péricarpe) est mince, sans sous-couche colorée (testa). Il y a

toutefois, de nombreuses variations de couleur, dureté et forme des grains utilisés pour l'alimentation dans diverses parties du monde. Les protéines du sorgho sont qualitativement défectives, ainsi que celles de nombreuses autres céréales, à cause de leur faible teneur en un acide aminé essentiel : la lysine. Des types de sorgho à haute teneur en lysine ont été découverts dans le district de Wollo (Ethiopie) et l'on a maintenant identifié plusieurs autres sources aussi. Les programmes de sélection étudient activement la possibilité d'intégrer ce caractère dans leurs meilleures variétés et lignées à l'usage des paysans. Cela pose de nombreux problèmes, avec limitation probable des sorghos à haute teneur en lysine à des utilisations spéciales.

Le sorgho-grain utilisé en alimentation animale a généralement un grain plus tendre que celui utilisé en alimentation humaine et souvent coloré. Il est rarement utilisé sans un broyage grossier ou un corcassage ou d'autres procédés comportant divers modes de trempage, mise en flocons ou en "pop". L'objectif est d'exposer une plus grande fraction de la graine aux enzymes digestives de l'animal. Sans traitement, des grains absorbés par l'animal resteront non digérés.

La plante entière de sorgho constitue un bon fourrage. Elle peut être hachée pour préparer de

2 Le sorgho : utilisations, caractéristiques, distribution

l'ensilage ou donnée directement à l'animal. L'herbe du Soudan, ou "sudangrass" est consommée en pâture ou transformée en foin. Les chaumes (la partie qui reste sur le champ après la récolte des panicules) sont souvent utilisés comme foin. Ces chaumes toutefois sont d'une qualité plus médiocre que ceux du sorgho spécialement exploité comme fourrage.

Certains sorghos (à grain et fourrage) peuvent produire des composés cyanhydriques en quantités toxiques. La concentration en acide cyanhydrique (HCN) est au maximum chez les jeunes plants et décline à mesure que les plants croissent; elle est faible après 30 et 40 jours de croissance et pratiquement nulle juste avant l'épiaison. La teneur en acide cyanhydrique est plus élevée dans les repousses après la coupe. Le danger le plus grand survient lorsque les repousses souffrent de la gelée.

Ce problème de l'acide cyanhydrique peut être surmonté par une attention toute particulière apportée à la sélection de variétés à faible teneur en HCN et par des conditions de pâturage correctes. La présence de HCN ne doit pas constituer une restriction sérieuse à l'utilisation fourragère du sorgho en alimentation animale.

Caractéristiques essentielles

Potentiel de rendement

Le sorgho possède un potentiel de rendement élevé, comparable à ceux du riz, du blé et du maïs. On a relevé dans des champs d'essai des rendements qui dépassent 11000 kg/ha avec des rendements supérieurs à la moyenne variant entre 7000 et 9000 kg/ha lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant.

Dans les zones où le sorgho est couramment cultivé, on obtient de 3000 à 4000 kg/ha dans les meilleures conditions et seulement de 300 à 1000 kg si l'approvisionnement en eau devient limitant.

Adaptabilité

Le sorgho s'adapte à de nombreux milieux, ayant besoin de 90 jours à 140 jours pour parvenir à maturité. Les rendements les plus élevés s'observent ordinairement chez les variétés mûrissant en 100 à 120 jours. Les sorghos-grains de ce type présentent, en général, un rapport grain/paille voisin d'environ 1:1. Les variétés hâtives n'ont pas un aussi bon

rendement, à cause de la réduction de la période de croissance; les variétés tardives ont tendance à développer le feuillage et à produire moins de grain (le rapport grain/paille peut atteindre 1:5). Les meilleurs rendements de telles variétés tardives sont en moyenne de 1500 à 2000 kg/ha, alors que les variétés à cycle de 100-120 jours atteignent 4000 à 5000 kg/ha ou plus.

Réponse aux engrais

La réponse aux engrais varie avec les différentes variétés. Beaucoup de variétés traditionnelles cultivées dans des conditions de sécheresse et de fertilité médiocre produisent 6 à 10 kg de grain par kilogramme d'azote épandu, alors que les variétés ayant une bonne réponse aux niveaux élevés de fertilisation produisent 20 à 40 kg de grain par kilogramme d'azote. Les lignées localement disponibles devraient être étudiées pour déterminer leur potentiel de réponse à la fertilisation.

Le facteur hydrique

Le sorgho est en général cultivé dans un milieu chaud et sec. Comparé au maïs, le sorgho se différencie par un système racinaire plus développé et plus fibreux. Les racines de la plante explorent un volume de sol plus grand pour en extraire l'humidité. L'engrais, même dans des conditions de faible pluviométrie, favorise le développement racinaire; les racines sont ainsi capables d'extraire l'humidité d'un plus grand volume de sol. Cette disponibilité plus forte en eau pour la plante, liée à une fertilité améliorée, favorise les rendements élevés.

Le sorgho exige moins d'eau pour sa croissance que les autres céréales; les études montrent que le sorgho a besoin de 332 kg d'eau pour produire 1 kg de matière sèche (M.S.); le maïs exige 368 kg d'eau/kg M.S.; l'orge 434 kg et le blé 514 kg. Le sorgho a tendance à "s'accrocher" pendant les périodes sèches et à reprendre sa croissance au retour de la pluie.

Les besoins en eau du sorgho augmentent lorsque la plante croît, pour atteindre un pic durant la période de floraison. Après cette période la consommation en eau baisse. Au pic de consommation, le sorgho utilise de 6 à 7 mm ha d'eau/jour. Le sorgho résiste également mieux à des conditions extrêmes d'humidité que d'autres céréales (maïs en particulier); le sorgho continue à croître, moins bien

certes, en conditions d'inondation, alors que le maïs périra dans ces conditions. Le sorgho tolère aussi assez bien, le sel et l'aluminium.

Le facteur température

Le sorgho formera ses grains, même si les températures sont élevées. La fécondation croisée peut être difficile si les températures atteignent 40°C ou plus, avec une humidité relative de 30% ou moins; mais, on peut avoir une récolte si la plante dispose d'eau (particulièrement si elle en dispose avant ou durant la période de floraison). Le développement floral et la formation des graines se déroulent normalement à des températures de 40° à 43°C avec une humidité relative de 15 à 30%, si la plante dispose d'eau dans le sol. Le sorgho ne supporte pas le temps frais aussi bien que le maïs. Il a une croissance lente à 20°C; cependant pour certaines variétés la germination et la croissance apparaissent à des températures aussi basses que 12°C.

Défense des cultures

Insectes : Les insectes posent un sérieux problème pour la culture du sorgho. La mouche des pousses du sorgho (*Atherigona soccata*) peut causer des dégâts sévères à la culture à certaines époques de l'année. Plusieurs foreurs des tiges infestent la culture. Une petite mouche, la cécidomyie, (*Contarinia sorghicola*) est occasionnellement très préjudiciable à la grenaison. Les cécidomyies déposent leurs oeufs dans les épillets en floraison et pour se nourrir les larves détruisent la graine en formation. Une culture peut être complètement perdue à cause de cet insecte. L'usage des insecticides permet de maîtriser ces problèmes. Par exemple, sur des parcelles d'essai on peut utiliser le Furadan ou le Thimet contre *Atherigona soccata*, l'Endrine ou le Sevin contre les foreurs et des poudrages HCH à 5 à 10% contre les cécidomyies. On dispose encore d'autres insecticides efficaces.

Maladies : Un certain nombre de maladies sont d'un intérêt économique majeur. Les plus importantes d'entre elles sont les moisissures des grains; le mildiou (*Peronosclerospora sorghi*); la pourriture charbonneuse (*Macrophomina phaseolina*). L'antracnose (*Colletotrichum graminicola*), le mildiou et la mosaïque nanisante du maïs sont parmi les plus importantes maladies dans les Amériques. La sélection pour la résistance est la meilleure méthode de lutte.

Adventices : Les *Striga*, plantes à parasitisme élevé, constituent le facteur limitant majeur dans maintes parties de l'Afrique et de l'Inde. *Striga hermonthica*, rencontré de la Tanzanie à l'Ethiopie et vers l'ouest du continent africain, est l'espèce la plus importante. *Striga asiatica*, présent en Afrique centrale et méridionale, est la plus importante espèce en Inde.

Oiseaux : Les oiseaux, par leurs dégâts, peuvent constituer un problème sérieux, particulièrement lorsque la culture est une introduction ou une variété qui arrive à maturité beaucoup plus tôt ou plus tard que le type local. Les dégâts d'oiseaux tendent à s'amoinrir lorsque la surface plantée augmente, ou si le semis de la culture est fait à un moment tel que sa maturité coïncide avec celle des autres cultures de la zone.

Nématodes : Ils représentent rarement un facteur de limitation du rendement, mais peuvent devenir un problème, si un champ est planté en sorgho pendant plusieurs années consécutives.

Données sur la production actuelle

L'estimation de la production de sorgho n'est pas simple parce que les méthodes de recensement appliquées dans un nombre important de pays ne distinguent pas entre les chiffres de production du sorgho et des mils. L'information donnée ici concerne en premier lieu le sorgho, mais inclut parfois les mils (Tab.1.1).

A l'échelle mondiale, la surface cultivée en sorgho a augmenté (de 38,5 à 43,9 millions d'hectares) de 1961-65 à 1976. Les rendements mondiaux moyens durant cette période ont augmenté (de 918 à 1179 kg/ha), tandis que la production totale passait de 35,3 à 51,8 millions de tonnes. Parmi les céréales

Tableau 1.1: Rendement (kg/ha) des principales céréales dans le monde (1976).

Culture	Rendement moyen (mondial)	Culture	Rendement moyen (mondial)
Maïs	2829	Blé	1774
Riz	2428	Seigle	1683
Orge	2030	Sorgho	1179
Avoine	1666	Mil	707

majeures, le sorgho occupe en superficie cultivée la cinquième place dans le monde après le blé, le riz, le maïs et l'orge. Les rendements moyens sont plus faibles que ceux de toutes les céréales à l'exception de ceux du mil. Les faibles rendements moyens résultent d'abord des conditions climatiques chaudes et sèches, sous lesquelles le sorgho est le plus couramment cultivé, plutôt qu'ils expriment la capacité de production de la plante. Le sorgho produira plus que le maïs dans certaines conditions de milieu s'il est cultivé correctement; les zones de production sont en voie d'extension spectaculaire dans de nombreuses zones y compris certaines traditionnellement cultivées en maïs. En Amérique latine par exemple, la surface emblavée en sorgho a presque triplé, passant de 1,5 à 4,2 millions d'hectares. Cette augmentation est attribuée pour une large part au changement pratiquement complet de la culture de variétés en celle d'hybrides.

Domestication du sorgho

Origine

Il est difficile de déterminer quand et où le sorgho a été domestiqué (de Wet et al. 1970). Murdock (1959) suggère que les peuplades Mandé qui vivent aux alentours des sources du Niger peuvent avoir domestiqué le sorgho. Doggett (1965a) signale des faits archéologiques laissant à penser que la pratique de la domestication des céréales a été introduite en Egypte à partir de l'Ethiopie environ 3000 ans av. J.-C. Il est possible que la domestication du sorgho ait débuté à cette époque. De Wet et al. (1970) ont étudié des documents archéologiques, mais n'ont trouvé que peu d'informations sur le sorgho.

De Wet et ses collègues suggèrent que le sorgho a des origines diverses et qu'il provient probablement de *Sorghum verticilliflorum*. *S. arundinaceum* est une graminée des forêts tropicales alors que *S. aethiopicum* et *S. virgatum* se trouvent dans des zones désertiques. Ces habitats se situent à l'extérieur des zones principales de culture du sorgho et ont probablement moins contribué à sa domestication. *S. verticilliflorum* se rencontre ordinairement dans les zones où le sorgho est cultivé. D'énormes variations se présentent chez *S. verticilliflorum*; il se croise aisément, ainsi que d'autres espèces sauvages, avec le sorgho cultivé. Son rendement est bon et il a été probablement récolté et utilisé avant l'avènement de l'agriculture.

Snowden (1936) et Porteres (1951) pensent que les races durra, guinea et caffra sont étroitement alliées et pourraient respectivement provenir de *S. aethiopicum*, *S. arundinaceum* et *S. verticilliflorum*. Cette hypothèse, toutefois, est difficile à démontrer expérimentalement. Des différences morphologiques entre races peuvent avoir pour cause l'isolement ethnique. La race caffra est largement cultivée dans la zone Bantoue de l'Afrique où la race durra n'est pas trouvée. Les races caudatum sont plus communes dans le centre du Soudan, alors que les variétés guinea se rencontrent en premier lieu en Afrique de l'Ouest. La distribution montre que les races caffra et caudatum dérivent de *S. verticilliflorum* et que durra pourrait provenir de *S. bicolor*. Le sorgho durra (guinea corn), est tout à fait distinct, mais il paraît douteux qu'il puisse provenir de *S. arundinaceum* (qui est une graminée des forêts tropicales) et l'on ne le rencontre pas là où le sorgho est l'objet d'une culture extensive.

Les études relatives à l'introggression montrent que les sorghos cultivés sont probablement apparus à la faveur d'une sélection disruptive (Doggett 1965b). Des croisements se produisent facilement entre types sauvages et cultivés; cependant, ces types constituent des populations distinctes. L'idée (toute spéculative) est que, lorsque l'homme a commencé à sélectionner, il y a eu un important écoulement de gènes entre types améliorés et types non améliorés. Cet écoulement de gènes aurait diminué lorsque la taille des champs a augmenté. La sélection par l'homme et la sélection naturelle auraient abouti à la création de diverses populations polymorphes, résultat de cette double pression entraînant l'éclatement de la variabilité. Ces pressions sont restées continuellement actives au fil du temps (et sont encore actives) et influencent les populations cultivées et sauvages.

La plupart des formes intermédiaires n'ont pas une longue existence dans la nature; celles qui se croisent en retour avec les formes cultivées, tendent à apporter leur contribution génique en direction des types cultivés, alors que celles qui se croisent en retour avec des types sauvages tendent à contribuer à la garniture génique de la population sauvage. Des populations polymorphes tendraient ainsi à se conserver et à changer au fil des années. De nouvelles formes apparaîtraient conduisant aux types de sorgho actuellement cultivés. L'isolement ethnique contribuerait à la réussite du processus.

Le processus de domestication a comporté le changement de diverses caractéristiques de la plante. Un axe primaire rigide (rachis) et la persistance de l'épillet sessile ont été probablement intro-

duits précocement dans le processus. Il est probable que le passage d'une inflorescence lâche et ouverte à une inflorescence de type compact signifiait plusieurs changements : en premier lieu un accroissement du nombre de ramifications par noeuds; en second lieu une augmentation du nombre de ramifications par branche primaire de l'inflorescence et enfin en troisième lieu, une diminution de la longueur des entrenoeuds du rachis. L'augmentation de la taille de la graine est probablement aussi une conséquence de la domestication, la graine devenant assez grosse pour faire saillie au-delà des glumes.

Les débuts de la dispersion géographique

Quand et comment le sorgho s'est-il dispersé à partir de l'Afrique reste conjectural. Actuellement, les types durra sont en extension continue à partir de l'Éthiopie, le long du Nil vers le Proche-Orient, et à travers l'Inde vers la Thaïlande. Les types durra ont été probablement introduits en Arabie dès l'époque du royaume de Saba (1000 à 800 av. J.-C.) et plus tard ont essaimé vers le Proche-Orient en empruntant les routes commerciales. Snowden (1936) a donné les dates de la plupart des faits cités ci-après.

Les grandes routes commerciales (par terre et mer, le long de la Mer d'Oman et de la zone méditerranéenne orientale jusqu'au loin que la Chine) remontent à la plus haute antiquité. Le sorgho a probablement atteint l'Inde par des routes à la fois maritimes et terrestres. Sa culture en Inde est mentionnée dans des légendes qui datent du premier siècle apr. J.-C. Ce n'est pas une très vieille culture en Inde, car son nom "Yavanala" en Sanscrit signifie "orge roseau" ou "grain de roseau", indiquant que probablement le sorgho a suivi l'orge en Inde.

L'absence de sorgho dans les sites de fouille en Proche-Orient montre que cette culture est arrivée assez tard dans cette zone. Il est possible que le sorgho y ait été introduit à peu près en même temps qu'il est apparu en Italie. Pline (60 à 70 apr. J.-C.) rapporte que la culture a été introduite de l'Inde en Italie.

La distribution laisse à penser que *S. bicolor* a été probablement introduit en Chine à partir de l'Inde vers le III^e siècle apr. J.-C. La présence de types durra en Corée et dans les provinces chinoises adjacentes, suggère qu'ils peuvent avoir été introduits dans cette zone par les anciennes routes de la soie à partir de l'Asie Mineure.

Le sorgho est relativement nouveau dans les Amériques. Il a été introduit pour la première fois aux États-Unis en 1857 et a été largement employé au début des années 1900 pour la fabrication de sirop (Doggett 1965a). C'est maintenant une importante culture céréalière dans de nombreux États de l'Ouest. Sa culture en Amérique Centrale et du Sud n'est devenue importante que depuis 1950.

Taxonomie

Classification des espèces

Le genre *Sorghum* a été classé de plusieurs manières. L'historique de la question donné ci-après est emprunté à Snowden (1936).

Pline l'Ancien (dans son *Historiae naturalis*) est le premier qui donne une description écrite nettement identifiable du sorgho. À part celle-ci, il semble que peu de choses ait été écrites sur le sorgho jusqu'au XV^e siècle encore que Crescenzi mentionne le sorgho dans divers textes en 1305 apr. J.-C. Ruel (1537) désigne le sorgho sous le nom de *Milium saracense*. Fuchs (1542), Tragus (1552), Scalliger (1557), Lobel (1576) et Dodoens (1583) font mention du sorgho. Dalechamps (1586) donne le dessin d'un sorgho qu'il nomme *Milium indicum sive melica* Matthio. Porta (1592) désigne la plante décrite par Pline sous le nom de *Milium indicum*, mais fait mention également d'un type à panicule lâche et à graine blanche sous le nom de *Milium aethiopicum*, qui est probablement identique à celui décrit par Belon en 1553 comme provenant de la zone de la Cilicie (nord-est de la Méditerranée, essentiellement en Turquie); Matthiole (1598) produit des dessins de son sorgho et le nomme *Milium indicum* Pline. Le nombre de références augmente substantiellement après cette période, et un petit nombre seulement présente quelque intérêt pour notre sujet.

Besler (1613) donne des dessins de deux variétés, la première étant *Sorgo & Melica italorum* et la seconde *Sorgum fructu albo*. Gaspard Bauhin (1623) décrit plusieurs espèces de *Milium* en utilisant l'expression *Milium subrotundo semine* pour le type décrit par Pline. Parkinson (1640) inclut tous les sorghos sous l'appellation *Milium sive sorghum*. Hermann (1687) décrit deux autres espèces : *Milium indicum arundinaceo caule granis flavescentibus* et *Milium indicum arundinaceo caule granis nigris*. Breyne (1689) décrit plusieurs espèces et Ponedero (1718) recense un grand nombre de sorghos

sous le nom de *Milium*. Il est suivi de Micheli (1729), qui utilise le nom générique de *Sorghum*. Alpino (1735) décrit sous le nom de *Dora* un type identifié plus tard comme un durra.

En 1737, Linné décrit deux espèces de sorgho, l'une sous l'expression *Holcus glumis glabris* et l'autre comme *Holcus glumis villosis*. La taxonomie moderne ne reprend de noms valides qu'à partir de *Species Plantarum* (1753) de Linné. Dans cette oeuvre Linné décrit trois espèces de sorghos cultivés : *Holcus sorghum*, *H. saccharatus* et *H. bicolor*. Mieg (1777) nomme le sorgho *Holcus dora* ; Forsskal (1775) adopte *Holcus durra* ; Persoon (1805) crée le binôme *Sorghum vulgare* qui groupe *Holcus sorghum* L. et *Holcus dora* Mieg. Forsskal décrit *H. dochna* en 1775 et Arduino (1786) décrit *H. cafer* qui était arrivé en Italie venant d'Afrique du Sud. Moench (1794) définit le genre *Sorghum* et l'espèce *Sorghum bicolor*.

Nos conceptions actuelles du genre *Sorghum* et des espèces respectent les définitions établies par Moench, et tous les noms spécifiques des espèces décrites ci-dessus sont maintenant considérés comme des synonymes de *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Koch décrit *Sorghum halepense* en 1848. Brotero (1804) reconnaît les similitudes entre les sorghos et *Andropogon* et les place dans ce genre. Il considère *Holcus sorghum* L. comme *Andropogon compactus* et *H. bicolor* comme *Andropogon sorghum*. Roxburghii (1820) rattache également les sorghos au genre *Andropogon*. Steudel (1854) décrit *Andropogon subglabrescens* et *Andropogon drummondii*, deux espèces maintenant considérées comme synonymes de *S. bicolor*. Avant le travail de Steudel les divers types distincts de sorgho étaient considérés comme des espèces valables. Alefeld en 1866 et Koernicke en 1885 considèrent systématiquement que tous les sorghos cultivés sont des variétés se subordonnant à une espèce unique : *Andropogon sorghum*, qu'ils considèrent comme dérivée par évolution de l'espèce sauvage *Andropogon halepensis*.

Chiovenda (1912) réétudie les sorghos et les répartit en quatre groupes sous le nom de genre *Sorghum*. Piper (1915) reprend intégralement la question des sorghos sauvages, encore classés dans le genre *Andropogon*. spp. Stapf (1917) également retravaille la classification des sorghos en adoptant le nom *Sorghum* comme nom de genre. Il emploie également le terme de *Eu-sorghum* pour désigner les "vrais" sorghos, l'autre groupe devenant des *Sorghastrum*.

C'est à Snowden (1936, 1955) que l'on doit la mise

sur pied de la classification la plus détaillée du genre *Sorghum*, travail qui constitue un apport capital et demeure utile pour les spécialistes d'aujourd'hui. Il décrit 31 espèces cultivées et 17 espèces sauvages affines, en reconnaissant que les sorghos cultivés pourraient être considérés comme des races d'une unique grande espèce. Cependant, il attribue le rang d'espèce aux 48 types différents pour souligner le fait qu'ils sont bien définis par un lot de caractères distincts. A l'heure actuelle les espèces de Snowden sont considérées plus justement comme des races d'une unique espèce.

Snowden (1936) a présenté ultérieurement les subdivisions suivantes en sections, sous-sections, et séries en laissant de côté *Sorghastrum* ; ce genre contenant des types plus distincts.

Section *Eu-sorghum* Stapf emend. Snowden

Sous-section *Arundinacea* Snowden

Séries *Spontanea* Snowden (10 espèces sauvages)

Séries *Sativa* Snowden (31 espèces cultivées)

Sous-section *Halepensis* Snowden (4 espèces sauvages)

Section *Para-sorghum* Snowden (8-10 espèces annuelles et pérennes sauvages)

De Wet et al. (1970) ont décrit les divers groupes de sorgho et leur distribution (Planche 1). Et en 1978, au terme de deux décennies de recherches biosystématiques, de Wet a revu la classification moderne des sorghos, perfectionnant ses propres classifications plus anciennes (de Wet et Huckabay 1967; de Wet et al. 1970). Selon Garber (1950) de Wet distingue les cinq sections suivantes dans le genre *Sorghum* :

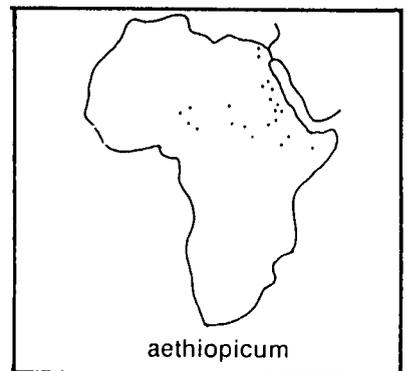
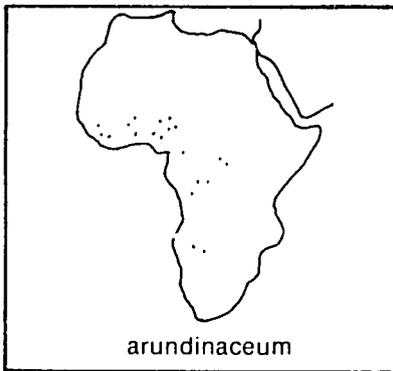
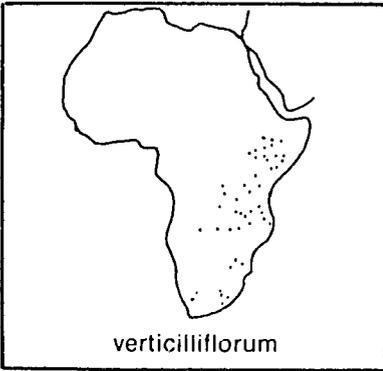
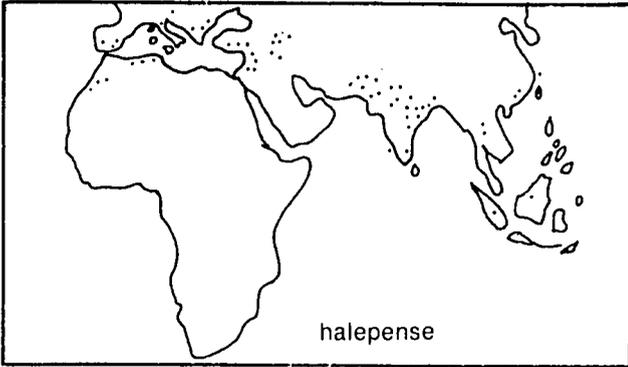
Sorghum Section. *Stiposorghum*
Parasorghum
Sorghum
Heterosorghum
Chaetosorghum

La section *Sorghum* (= *Eu-sorghum* Stapf emend. Snowden) renferme les sorghos cultivés annuels d'Afrique et les taxa pérennes du sud de l'Europe et d'Asie. Les autres sections ne contiennent que des espèces sauvages. Dans la section *Sorghum*, de Wet distingue trois espèces :

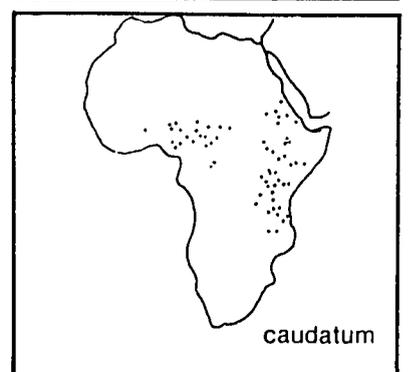
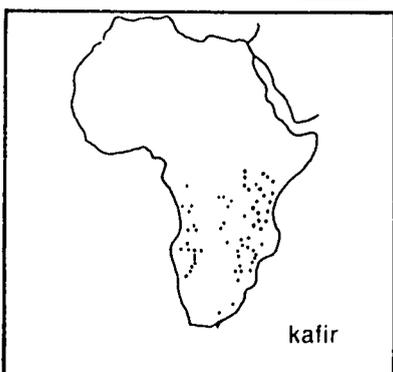
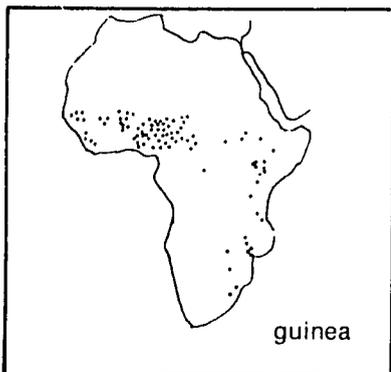
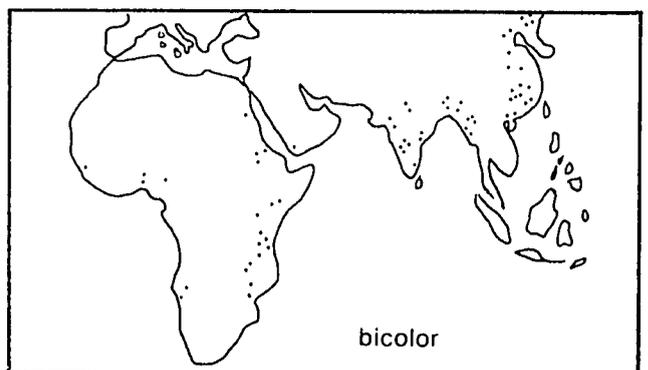
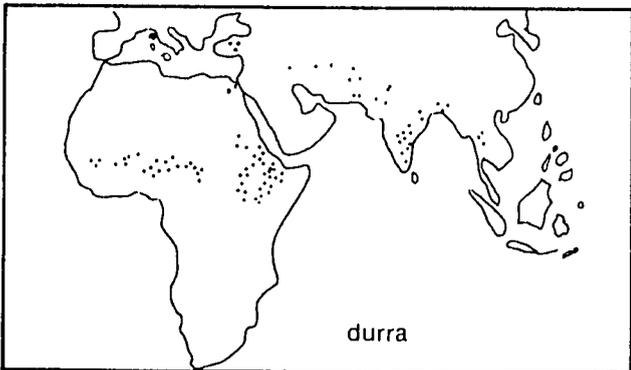
1. *S. halepense* (L.) Pers. (2n = 40), espèce rhizomateuse pérenne, provenant du sud de l'Europe en allant vers l'Est jusqu'à l'Inde.
2. *S. propinquum* (Kunth) Hitchc. (2n = 20), espèce

Planche 1. Distribution des espèces et races de sorgho.

Sauvage :



Cultivé :



8 Le sorgho : utilisations, caractéristiques, distribution

rhizomateuse du sud de l'Inde, du Sri Lanka, de la Birmanie, en allant vers l'Est jusqu'aux îles du Sud-Est asiatique.

3. *S. bicolor* (L.) Moench (2n = 20) renferme tous les taxons annuels retenus par Snowden (1936, 1955), c'est-à-dire :
 - un ensemble assez variable de sorghos cultivés : sous-espèce *bicolor*.
 - un ensemble de sorghos sauvages africains : sous-espèce *drummondii* (Steud.) de Wet.
 - un ensemble de types dérivés par introgression de types adventices : sous-espèce *arundinaceum* (Desv.) de Wet et Harlan.

La révision de de Wet en 1978 place 28 taxons de Snowden dans la sous-espèce *bicolor*, 7 dans la sous-espèce *drummondii* et 13 dans la sous-espèce *arundinaceum*. Les nombres diffèrent de ceux de l'étude de Snowden par suite de regroupement et de synonymie.

Murty et al. (1967) étudiant les 4000 entrées de la Collection mondiale des sorghos, les ont réparties en 8 sous-séries et 70 groupes provisoires. Ces groupes constituent plus ou moins une extension de la classification faite par Snowden et sont considérés comme fonctionnels par certains chercheurs.

La collection a été alors classifiée par Murty (1972) en appliquant un certain nombre de méthodes statistiques qui ont abouti à une division du genre *Sorghum* en neuf "groupes" : *S. roxburghii*, *S. conspicuum*, *S. arundinaceum*, *S. nervosum*, *S. durra*, *S. subglabrescens*, *S. sudanense*, *S. halepense*, *S. virgatum*.

Sorghos cultivés

Harlan et de Wet (1972) ont mis au point, à l'usage des sélectionneurs, une classification simplifiée et informelle des sorghos cultivés et des espèces sauvages affines les plus proches. Les taxons cultivés, comportant 28 (sur 31) des espèces de la série *Sativa* de Snowden (de Wet 1978), sont subdivisés entre les races suivantes sous l'appellation de : *S. bicolor* sous-espèce *bicolor* :

Races fondamentales :

1. Bicolor (B)
2. Guinea (G)
3. Caudatum (C)
4. Kafir (K)
5. Durra (D)

Races hybrides :

6. Guinea-bicolor (GB)
7. Caudatum-bicolor (CB)
8. Kafir-bicolor (KB)
9. Durra-bicolor (DB)
10. Guinea-caudatum (GC)
11. Guinea-kafir (GK)
12. Guinea-durra (GD)
13. Kafir-caudatum (KC)
14. Durra-caudatum (DC)
15. Kafir-durra (KD)

On peut distinguer les 15 races de sorgho cultivé en se référant uniquement aux épillets adultes, encore que le type de panicule soit quelquefois utile. La classification est fondée sur cinq types fondamentaux d'épillets définis par Harlan et de Wet (1972) :

Bicolor : Grain allongé, parfois faiblement obovale, presque symétrique dorso-ventralement; glumes accolées au grain, qui peut être soit totalement recouvert, soit découvert au sommet sur une fraction de sa longueur pouvant atteindre le quart de celle-ci; épillets persistants.

Guinea : Grain au contour sublenticulaire, aplati dorso-ventralement, tournant à maturité à 90° entre les glumes ouvertes involutées, de longueur presque égale ou supérieure à celle du grain.

Caudatum : Grain nettement asymétrique, le côté proche de la glume inférieure étant plat ou même un peu concave, l'opposé arrondi et bombé; le style souvent persiste sous forme d'une pointe terminale tournée vers la glume inférieure; la longueur des glumes est au plus la moitié de celle du grain.

Kafir : Grain à peu près symétrique, plus ou moins sphérique, ne se tournant pas; glumes de longueur variable, enfermant étroitement le grain.

Durra : Grain arrondi obovale, en coin à la base, légèrement plus large au-delà du milieu; glumes très larges à texture dif-

férente à la base et au sommet, avec souvent un pli transversal médian.

Des croquis des types fondamentaux d'épillet sont donnés dans la Figure 1.1. Harlan et de Wet écrivent que :

Les races hybrides sont exactement ce que l'on s'attendait à ce qu'elles soient. Les races à moitié guinea ont des grains qui tournent un peu, mais pas aussi complètement que dans la race guinea pure. Les races à moitié caudatum ont des grains à dos bombé comme une carapace de tortue, mais pas autant que dans la race caudatum pure. Les races à moitié durra ont des grains largement arrondis à leur partie supérieure, mais moins nettement obovales que les durra purs et le pli transversal peut ou non être présent sur la glume. Les races à moitié kafir présentent des modifications qui vont vers le type kafir et les demi-bicolor, des modifications vers le type bicolor.

Harlan (1972, p. 515) écrit :

En Afrique, la répartition du matériel végétal indigène est assez uniforme. La race guinea est fondamentalement d'Afrique de l'Ouest, avec un centre secondaire en Malawi-Tanzanie. La race caudatum est plus abondante du Nigeria oriental au Soudan oriental et vers le sud jusqu'en Ouganda.

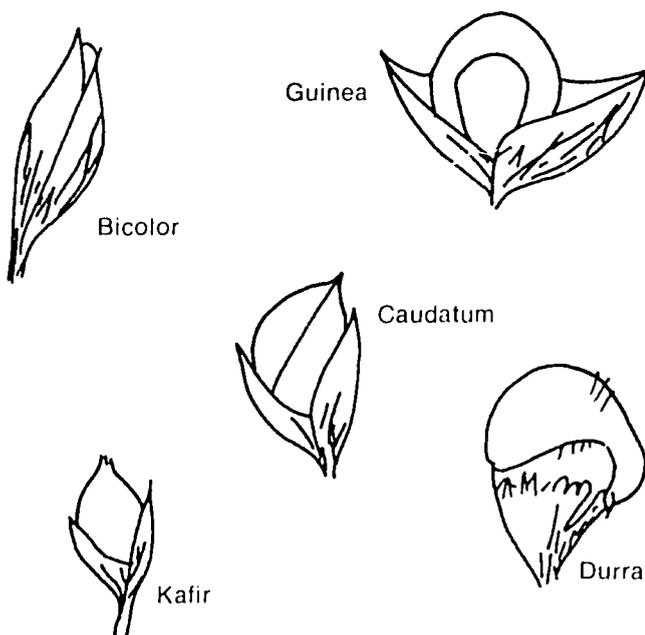


Figure 1.1: Classification des sorghos selon le type d'épillet.

Kafir est fondamentalement une race d'Afrique de l'Est, au sud de l'équateur et d'Afrique australe. La race durra domine en Ethiopie et vers l'ouest à travers le continent dans les zones les plus sèches de culture du sorgho au voisinage du Sahara. Les races hybrides se trouvent assez uniformément là où il faut s'y attendre : par exemple les *guinea-caudatum* existent dans les zones où guinea et caudatum se chevauchent (Nigeria, Tchad, Soudan); les *durra-caudatum* apparaissent dans le Nigeria du Nord et dans des secteurs du Soudan où durra et caudatum coexistent aussi, etc.

La race bicolor existe sur une petite échelle, presque partout en Afrique. Les types sucrés utilisés comme masticatoires sont ordinairement des bicolor et certains sont utilisés pour la fabrication de la bière. Ils font rarement l'objet de cultures importantes. Par contre, les sorghos des hauts plateaux éthiopiens appartiennent à la race *durra-bicolor* et sont cultivés très extensivement. Les races bicolor sont fréquemment reconstituées localement par voie d'introgessions entre les sorghos-grains et des types spontanés-adventices très abondants en Afrique centrale et orientale.

Quelques-unes des races hybrides ne sont pas connues dans les collections indigènes, mais apparaissent dans les productions de station expérimentale. En étudiant la collection de Snowden à Kew, par exemple, je n'ai jamais pu trouver un véritable kafir du nord de l'équateur, ni un véritable durra du sud de l'équateur et les hybrides kafir-durra étaient inexistantes. La collection Snowden présente l'avantage d'avoir été constituée il y a environ 40 ans (vers le début des années 30) avant que le matériel végétal reçoive une aussi large distribution.

Les sorghos indiens sont principalement des durra, guinea, guinea-kafir, avec quelques bicolor cultivés à petite échelle. Les sorghos-grains américains sont presque intégralement des kafir-caudatum. Les "Kauras" du Nigeria sont des durra-caudatum; les "Zera-zeras" et les Hegaris sont des caudatum. Ce qu'on nomme Feterita au Soudan va de guinea-caudatum à durra-caudatum en passant par caudatum. Le sorgho à balais, le sorgho, l'herbe du Soudan ou sudan-grass, se rangent dans la race bicolor.

Les sorghos cultivés sont plus variables que les complexes des races spontanées-adventices. Cependant, il est possible de reconnaître cinq complexes, plus ou moins distincts, d'espèces cultivées, chacun d'entre eux ayant une distribution connue :

S. bicolor sous-espèce *bicolor* race guinea : les sorghos ordinairement cultivés d'Afrique occidentale, là où la pluviométrie annuelle dépasse 1000 mm. Les affinités morphologiques et la répartition

montrent que la race guinea est probablement le fruit d'une sélection parmi les membres spontanés de la variété *arundinaceum*.

S. bicolor sous-espèce *bicolor* race kafir : les sorghos les plus couramment cultivés au sud du 5°N et à l'est du 20°E. Ils sont aussi cultivés du nord du Nigeria allant vers l'ouest jusqu'au nord du Ghana où il y a un écoulement de gènes entre les races guinea et kafir. Il n'y a pas de centre d'origine indiscutable pour la race kafir, probablement par suite des migrations du peuple Bantou. Ses migrations depuis l'histoire la plus ancienne de l'homme, ont mis tous les cultivars les plus importants en contact. Cette race apparaît comme étant d'origine strictement africaine et, tant sa répartition que ses affinités morphologiques, suggèrent qu'elle est dérivée de la variété *verticilliflorum*.

S. bicolor sous-espèce *bicolor* race durra : largement cultivée en Arabie et en Asie mineure; des types durra sont cultivés en Inde, en Birmanie le long de la Vallée du Nil et en Ethiopie. Il semble qu'il existe trois centres de diversité morphologique : la région Ethiopie-Soudan, le Proche-Orient et l'Inde.

S. bicolor sous-espèce *bicolor* race *bicolor* : cette race présente sa plus grande diversité en Asie, mais est aussi largement répandue en Afrique. Certains cultivars sont presque strictement africains, d'autres asiatiques, un petit nombre viennent d'Asie du Sud-Est, et on en trouve quelques-uns sur la côte de la Chine du Sud. Il semble que cette race soit née en Afrique de l'Est de la variété *aethiopicum* et que la grande diversité constatée en Asie se soit développée après son introduction dans ce continent.

S. bicolor sous-espèce *bicolor* race *caudatum* : elle est dominante dans divers secteurs du Soudan, du Tchad, du Nigeria et la plus grande partie de l'Ouganda. C'est une très importante race sur le plan agronomique, en particulier dans ses combinaisons avec d'autres races.

Sorghos sauvages

Les espèces spontanées et adventices, affines des sorghos-grains, classées à l'origine principalement dans les séries *Spontanea* Snowden sont maintenant placées dans la sous-espèce *drummondii* et sous-espèce *arundinaceum* (de Wet 1978). Les espèces sauvages affines incluses dans la classification de Harlan et de de Wet (1972) dans les races *arundinaceum*; *aethiopicum*, *virgatum*, et *verticilliflorum* sont maintenant placées dans la sous-espèce *arundinaceum*; et *propinquum* est maintenant reconnue comme une espèce à part dans le genre *Sorghum*.

La distribution géographique des taxa spontanés adaptée des travaux de de Wet et al. (1970) et de de Wet (1978) se présente au Tableau 1.2.

Les taxa adventices de la sous-espèce *drummondii* sont des hybrides stables entre les races cultivées et les taxa sauvages chez *Sorghum bicolor*. Ces "espèces" ont des racèmes moins solides. Les "espèces" sauvages ont des racèmes fragiles et les plants en général croissent dans la végétation graminéenne naturelle, mais peuvent aussi envahir les champs cultivés.

Tableau 1.2: Distribution des taxa spontanés (adapté de de Wet et al. 1970 et de de Wet 1978).

Sous-espèce *drummondii*

<i>S. atterimum</i> Stapf	Afrique tropicale de l'Ouest, Soudan, région du Haut Nil; spontané dans les champs.
<i>S. drummondii</i> (Steud.) Millsp. et Chase	Afrique tropicale de l'Ouest; maintenant aussi dans les Etats du sud des Etats-Unis; spontané dans les terres cultivées.
<i>S. elliotii</i> Stapf	Ouganda; adventice autour des villages.
<i>S. hewisonii</i> (Piper) Longley	Du Soudan à la Somalie; adventice autour des villages et dans les champs cultivés.

Suite page suivante

Tableau 1.2. (suite)

<i>S. niloticum</i> (Stapf ex Piper) Snowden	Du sud du Soudan à l'est du Zaïre et dans la région orientale du Kenya, le long des rives des cours d'eau, et dans les champs cultivés enherbés.
<i>S. nitens</i> (Busse et Pilger) Snowden	Tanzanie, le long du fleuve Bubu.
<i>S. sudanense</i> (Piper) Stapf	Du Soudan à l'Egypte, le long des berges des cours d'eau et comme adventice le long des canaux d'irrigation.
Sous-espèce <i>arundinaceum</i>	
<i>S. arundinaceum</i> (Desv.) Stapf	Tropiques humides, le long de la Côte de Guinée, à travers le Zaïre jusqu'au nord de l'Angola; graminée forestière dans les zones de bas-fonds et le long des berges des cours d'eau.
<i>S. aethiopicum</i> (Hack.) Rupr. ex Stapf	Ethiopie, Soudan.
<i>S. brevicarinatum</i> Snowden	Nord-Est du Zaïre, vers le sud le long des lacs jusqu'au district d'Usugara (Tanzanie); le long des berges des cours d'eau et des rigoles d'irrigation.
<i>S. casteneum</i> Hubb. et Snowden	Ouganda; dans les zones de bas-fonds humides.
<i>S. lanceolatum</i> Stapf	Soudan, vers l'ouest au nord du Nigeria et vers le sud à l'Ouganda; dans les zones marécageuses ou le long des berges des cours d'eau.
<i>S. macrochaeta</i> Snowden	Du Soudan méridional au Zaïre oriental; le long des berges des cours d'eau et des rives des lacs.
<i>S. panicoides</i> Stapf	Est de l'Ethiopie; habitat non connu.
<i>S. pugonifolium</i> Snowden	Inde : Punjab; ce taxon a des affinités avec <i>S. somaliense</i> et est probablement une introduction récente d'Afrique.
<i>S. somaliense</i> Snowden	Somalie; vallée des cours d'eau et zones humides.
<i>S. usumbareense</i> Snowden	Tanzanie; habitats humides le long des fleuves dans le district d'Usambara.
<i>S. verticilliflorum</i> (Steud.) Stapf	Du Kenya à l'Afrique du Sud; adventices des talus des routes dans les zones humides, le long des berges des cours d'eau et des rigoles de drainage en zone irriguée, ou adventices dans les champs de culture.
<i>S. virgatum</i> (Hack.) Stapf	Soudan, nord-est du Tchad, Egypte; dans les secteurs secs le long des berges des cours d'eau et des rigoles de drainage en zone irriguée.
<i>S. vogelianum</i> (Piper) Stapf	Cameroun et Nigeria; graminée de la forêt tropicale des berges de fleuves.

Bibliographie

- De Wet, J.M.J. et Huckabay, J.P. 1967. Origin of *Sorghum bicolor*. II. Distribution and domestication. *Evolution* 21(4) : 787-802.
- De Wet, J.M.J., Harlan, J.R. et Price, E.G. 1970. Origin of variability in the *Spontanea* complex of *Sorghum bicolor*. *American Journal of Botany* 57(6) : 704-707.
- De Wet, J.M.J. 1978. Systematics and evolution of *Sorghum* sect. *Sorghum* (Gramineae). *American Journal of Botany* 65(4) : 477-484.
- Doggett, H. 1965a. The development of the cultivated sorghums. Pages 50-69 in *Essays on crop plant evolution* (éd. J.B. Hutchinson et al.). Londres: Cambridge University Press.
- Doggett, H. 1965b. Disruptive selection in crop development. *Nature* 206 (4981) : 279-280.
- Garber, E.D. 1950. Cytotaxonomic studies in the genus *Sorghum*. University of California Publications, *Botany* 23 : 283-361.
- Harlan, J.R. 1972. Genetic resources in sorghum. Pages 1-13 in *Sorghum in seventies* (éd. N. Ganga Prasada Rao et Leland R. House). New Delhi: Oxford & IBH.
- Harlan, J.R. et de Wet, J.M.J. 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science* 12(2) : 172-176.
- Murdock, G.P. 1959. Staple subsistence crops of Africa. *Geographical Review* 50 : 521-540.
- Murty, B.R. 1972. Biometrical classification of sorghum. Pages 14-38 in *Sorghum in seventies* (éd. N. Ganga Prasada Rao et Leland R. House). New Delhi : Oxford & IBH.
- Murty, B.R., Arunachalam, V. et Saxena, M.B.L. 1967. Classification and catalogue of world collection of sorghum. *Indian Journal of Genetics* 27 (N° spécial) : 1-74.
- Snowden, J.D. 1936. Cultivated races of sorghum. Londres : Adlard and Sons. 274 pages.
- Snowden, J.D. 1955. The wild fodder sorghums of the section *Eu-sorghum*. *J. Linnaean Society, Botany* (Londres) 55:191-260.

Deuxième partie

Le sorgho

Stades de croissance et morphologie

Cette deuxième partie est une étude succincte de la culture sous quelques-uns de ses aspects anatomiques et physiologiques. On a mis l'accent sur ceux d'entre eux qui peuvent être utiles pour les sélectionneurs; par exemple le développement du bourgeon floral, le développement des feuilles, l'anatomie de l'épillet. Le lecteur est également invité à se reporter à la discussion sur la hauteur de la plante et sa maturité dans la troisième partie.

Stades de croissance

Phase végétative

Germination et développement de la plantule

Lorsqu'une graine est enfouie dans un sol humide, elle s'imbibe d'eau et gonfle. La germination se produit rapidement et dans les sols chauds (20° C ou plus) le coléoptile apparaît le premier au-dessus du sol au bout de trois à quatre jours (le temps est plus long, jusqu'à dix jours dans des sols plus froids—13 à 20° C).

Lorsque la graine gonfle, son tégument se brise et un coléoptile mince ainsi que la racine primaire (radicule) apparaissent (Planche 2-9). Le coléoptile s'allonge et quelques racines primaires commencent à se développer (Planche 2-10). Le coléoptile commençant à émerger du sol, la première feuille sort bientôt en perçant son sommet (Planche 2-10). La jeune plante commence sa croissance, en produisant d'autres feuilles, le coléoptile restant à la base du pied sous forme d'une gaine (Planche 2-11). Le mésocotyle (Planche 2-11c) croît durant cette période et un noeud se forme à la base du coléoptile juste en-dessous de la surface du sol. Des racines secondaires commencent à se développer au niveau de ce noeud, trois à sept jours après l'émergence du plant (Planche 2-11f). La jeune plantule vit durant cette période sur les

éléments nutritifs stockés dans l'endosperme. A peu près au moment où les racines secondaires ont commencé à se développer, le mésocotyle commence à disparaître et un système racinaire plus important se développe à partir des racines secondaires ou adventives.

Certains sorghos tallent abondamment en particulier le sudangrass et les sorghos fourragers. Les sorghos-grains ont une capacité de tallage variable mais en général ils ne tallent que si l'humidité du sol est convenable ou que si le peuplement est clair. Chez les variétés qui tallent normalement, les talles prennent naissance à partir de bourgeons adventifs au noeud basal aussitôt après la sortie des racines secondaires.

L'inflorescence de la tige principale fleurit en même temps que celles des talles, ou bien ces dernières fleurissent après. Les plantes restent en phase végétative environ 30 à 40 jours, durant lesquels toutes les feuilles sont formées. Après cette période la croissance se fait par élongation cellulaire.

Phase reproductive

Développement de l'inflorescence et fécondation

Les ébauches florales initiales (Planches 3 et 4-11) apparaissent 30 à 40 jours après la germination (mais la formation de la fleur peut demander de 19 à 70 jours ou plus) (Fig.2.1). En général, l'ébauche

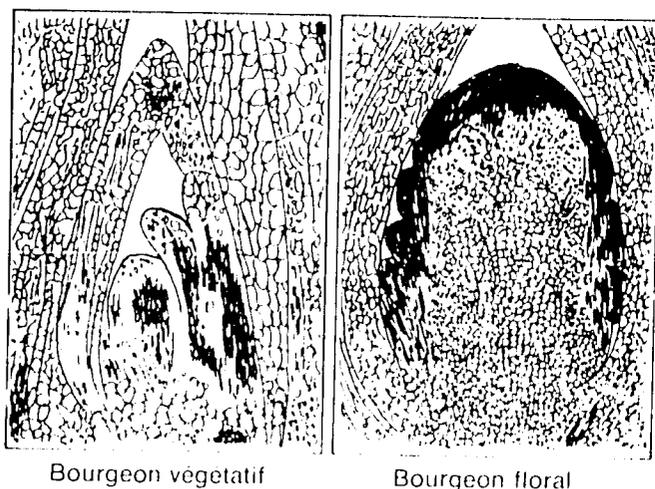


Figure 2.1: Bourgeons végétatif et floral.

florale apparaît à 15-30 cm au-dessus du sol lorsque les plants ont entre 50 et 75 cm de haut. L'initiation florale marque la fin de la période végétative de croissance, résultat de l'activité des méristèmes. La grande période de croissance chez le sorgho suit la formation du bourgeon floral et est basée pour une grande part sur l'élongation cellulaire.

Durant cette période d'élongation cellulaire rapide, le bourgeon floral initial se développe en une inflorescence (Planche 3). Environ six à dix jours avant la floraison, la feuille paniculaire forme un renflement dans la gaine de la feuille. Ceci se produit dans une variété fleurissant à 60-65 jours, environ 55 jours après la germination. Le sorgho en général fleurit au bout de 55 à 70 jours dans les climats chauds, mais la floraison peut s'échelonner entre 30 et plus de 100 jours.

La panicule de sorgho commence à fleurir à partir du sommet et la floraison se poursuit par étage successif en allant vers le bas durant une période de quatre à cinq jours. Etant donné que toutes les panicules d'un champ ne fleurissent pas simultanément, le pollen est en général disponible durant une période de 10 à 15 jours. Au moment de la floraison les glumes s'ouvrent et les trois anthères pendent librement, tandis que les deux stigmates sortent, chacun d'entre eux porté par un style rigide (Planches 4-2 et 4-6).

La floraison souvent commence juste avant ou juste après le lever du soleil, mais peut être retardée les matinées où le temps est humide et nuageux. Les anthères effectuent leur déhiscence lorsqu'elles sont seches (mais pas en condition de forte rosée ou de pluie) et le pollen est entraîné dans l'air. Le sorgho est surtout autopolinisé (2 à 10% de pollinisations croisées environ) ce qui signifie que le

pollen d'une panicule féconde les ovules de cette même panicule. Le pollen s'amasse sur le stigmate, où il germe; le tube pollinique, à deux noyaux, descend à travers le style pour féconder l'ovule et former un noyau à $2n$ chromosomes et un endosperme à $3n$ chromosomes ('n' : voir page 31, col. 1, alinéa 1). Le sorgho a une garniture chromosomique de $20n$. Les glumes se resserrent étroitement après la pollinisation, quoique les anthères vides et les stigmates soient encore extérieurs (sauf dans les sorghos à longues glumes). Les fleurons de certains de ces sorghos à très longues glumes ne s'ouvrent pas pour la fécondation—phénomène désigné par le terme de *cléistogamie*.

La stérilité mâle cytoplasmique découverte chez le sorgho a rendu possible le développement d'une industrie de semences hybrides. Une bonne plante mâle-stérile ne portera pas d'anthères, mais dans quelques cas des anthères de couleur noire, ratinées, sans pollen viable, peuvent apparaître. On observe aussi des panicules partiellement fertiles, et bien que les anthères, fréquemment aient du pollen viable, la quantité de celui-ci est moindre que dans les plants normaux. La viabilité du pollen chez les plants partiellement fertiles est un problème important pour les producteurs de semences.

Phase de maturation

Développement de la graine

L'ovule au début de son développement a l'aspect d'une sphère vert-clair à presque crème; après dix jours, il prend du volume et passe au vert foncé. Il faut environ trente jours aux graines pour atteindre leur poids sec maximum (maturité physiologique). Durant ce développement les graines passent par trois stades : (1) laiteux; (2) début pâteux; (3) fin pâteux. Ces termes quoique couramment utilisés ne sont pas définis spécifiquement. Les graines commencent à passer du vert à la couleur qu'elles auront à maturité. Les graines contiennent environ 30% d'humidité à leur maturité physiologique; elles séchent jusqu'à 10-15% d'humidité durant les 20 à 25 jours qui suivent. Durant cette période, elles perdent jusqu'à 10% de leur poids sec. La graine peut être récoltée à n'importe quel moment entre la maturité physiologique et la siccité de la graine, toutefois les graines qui ont plus de 12% d'humidité doivent être séchées avant stockage. Il est facile d'identifier le péricarpe, l'endosperme et l'embryon dans une section de graine mûre (Planches 2-7 et 2-8).

Les feuilles plus basses commencent à mourir et à sécher durant cette période. Au moment où le grain commence à sécher, quatre ou cinq des feuilles plus basses peuvent sécher et tomber du plant. Il existe de nettes différences variétales dans le taux de sénescence des feuilles qui persistent. Toutes les feuilles peuvent avoir séché ou presque séché, au moment où le grain est mûr, ou le plant entier peut encore être resté vert.

Morphologie du sorgho

Racines

Le système racinaire du sorgho est développé, et avec de nombreux poils radiculaires (presque deux fois plus que le maïs, par exemple). Au moment de la germination (Planche 2-9) apparaît la racine primaire ou embryonnaire. Plusieurs racines de ce type se développent (Planche 2-10). Celles-ci sont peu ou pas du tout ramifiées (Planche 2-10). Les racines secondaires se forment à partir du premier noeud; ce sont ces racines qui en se développant constituent le système racinaire abondant de la plante (Planche 2-11f). Par la suite, les racines primaires meurent. Des racines adventives peuvent apparaître plus tard sur les noeuds inférieurs et peuvent être nombreuses si le plant n'est pas en bonnes conditions (Planche 5-9). Ces racines ne sont pas fonctionnelles quant à l'alimentation en eau et aliments.

Les sorghos cultivés sont, ou non rhizomateux, ou très faiblement rhizomateux, et sont annuels, ou (faiblement) pérennes. Le système racinaire, toutefois, persiste assez pour permettre le développement des rejetons (une seconde, troisième, ou davantage de croissance de chaumes à partir du même système racinaire) à partir de bourgeons adventifs situés à la base de la tige-mère. On ne trouve de rhizomes bien développés que dans la sous-espèce *halepense* (sorgho d'Alep).

Chaumes

Le chaume ou la tige, est constitué de séries de noeuds alternant avec des entre-noeuds. La tige est grêle à très robuste, mesurant de 0,5 cm à 5 cm de diamètre près de la base, s'amenuisant vers l'extrémité terminale et ayant une longueur de 0,5 m à 4 m. Elle est solide avec un cortex ou une écorce dur et une moelle plus molle. Les faisceaux vasculaires sont répartis dans la tige, mais ils se sont plus con-

centrés dans la région périphérale où ils sont si rapprochés les uns des autres qu'ils forment presque un anneau continu. Les faisceaux vasculaires dans la zone centrale de la tige sont plus gros que ceux de la périphérie. Les faisceaux du centre se ramifient dans les nervures médianes des feuilles, alors que ceux de la périphérie se ramifient pour former les plus petites veines dans le limbe foliaire. La moelle peut être sucrée ou insipide, juteuse ou sèche. Dans les vieilles tiges, la moelle peut se fragmenter, en particulier si elle est sèche.

Le noeud se présente comme un anneau à la base de la gaine foliaire : c'est le point où la feuille s'attache à la tige (également le point où les racines adventives se développent). Il y a à cet endroit une anastomose complexe des faisceaux vasculaires de la tige vers ceux de la feuille (Planches 4-9 et 4-11). Un bourgeon se forme à chaque noeud, excepté au noeud correspondant à la feuille paniculaire (Planche 4-9). Ces bourgeons, aux noeuds successifs, se trouvent en alternance d'un côté ou l'autre de la tige. Parfois, ces bourgeons se développent en talles axillaires (Planche 4-8). Les talles de la base (Planche 4-10) quand elles existent se forment au premier noeud.

Feuilles

Les feuilles sont distribuées de façon variable le long de la tige chez le sorgho; chez certains types, elles sont concentrées près de la base, alors que chez d'autres elles sont plus ou moins uniformément disposées. Les feuilles forment des angles variables avec la tige, d'une position presque verticale au presque horizontale. Le limbe peut être plat ou légèrement incurvé formant un arc. L'extrémité de la feuille peut même pendre. Les feuilles sont de longueur variable, en général plus courte et plus étroite vers le sommet de la tige (la feuille au sommet est appelée paniculaire); dans la partie inférieure de la région médiane elles peuvent être aussi longues ou légèrement plus longues que celles de la base de la plante. Les feuilles peuvent atteindre 1 m de long pour 10 à 15 cm de large. Le nombre de feuilles varie grandement suivant les plants; chez les plants bien adaptés il y a ordinairement de 14 à 17 feuilles, ce nombre pouvant atteindre 30 chez les plants moins adaptés.

Généralement, l'embryon dans la graine a de cinq à sept feuilles embryonnaires, le nombre étant le plus élevé dans les graines les plus mûres. Le Tableau 2.1 a été établi d'après les travaux de la Station expérimentale agricole de Chillicothe (Texas,

Tableau 2.1: Temps nécessaire pour l'apparition d'une feuille dans le bourgeon végétatif (meristème) de sorgho (en supposant 7 feuilles embryonnaires).

Cultivar	Nbre de jours à l'initiation de l'épiaison	Nbre de feuilles total	Nbre de feuilles produites après la germination	Jours par feuille
Sooner Milo	32	13	6	5
Texas Milo	39	18	11	4
Hegari	48	18	11	4
Kalo	39	17	10	4
Calif.W. Durra	34	14	7	5
Spur Feterita	36	19	12	3
Freed	32	12	5	6
Manko	47	17	10	5
Bishop	39	17	10	4
Sumac	39	16	9	4
Black Hull Kafir	39	16	9	4
Jap. D. Broomcorn	39	15	8	5

Etats-Unis). Ce tableau montre que de trois à six jours s'écoulent entre la différenciation des feuilles successives, avec certaines variétés produisant des feuilles plus rapidement que les autres.

La graine de sorgho atteint sa maturité physiologique en 30 jours environ et au bout de ce temps a de six à sept feuilles embryonnaires. Il faut à peu près la même quantité de temps (quatre à cinq jours) pour matérialiser une feuille dans l'embryon qu'au point de croissance végétative, le méristème (Tab. 2.1).

Les feuilles naissent le long de la tige en alternant sur deux lignes et se composent d'une gaine et d'un limbe. La gaine est fixée à un noeud et entoure l'entre-noeud et fréquemment aussi le noeud immédiatement supérieur, avant que le limbe ne s'étende vers l'extérieur. Souvent, les gaines attachées aux noeuds inférieurs recouvrent le noeud supérieur, mais les gaines supérieures ne s'étendent pas jusqu'au noeud au-dessus. Cette gaine est fréquemment couverte d'une pruine cireuse; parfois la pruine est très prononcée (Planche 5-1). Les limbes sont larges à la base et s'amincissent progressivement en une fine pointe; ils sont glabres, sauf à l'intérieur juste au-dessus de la ligule, et à l'extérieur près de l'articulation avec la gaine. Les marges de la feuille sont lisses ou légèrement scabres, spécialement sur la moitié supérieure. La nervure médiane est saillante, verdâtre ou blanche, aplatie ou légèrement concave sur la face supérieure et convexe sur la face inférieure.

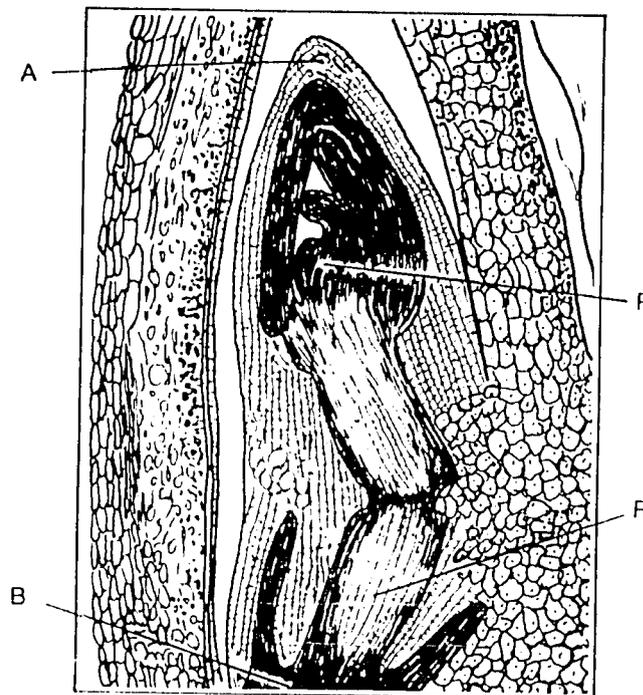


Figure 2.2: Section longitudinale d'un embryon 16 jours après la fécondation: (A) Coléoptile, (B) Coléorhize, (P) Plumule, (R) Radicule.

Les limbes sont plus épais à la base qu'au sommet et plus épais le long de la nervure médiane que le long des marges. Lorsque le limbe est blessé, la zone touchée passera au tanné, au rouge, au pourpre foncé (presque noir) selon la teinte propre du plant.

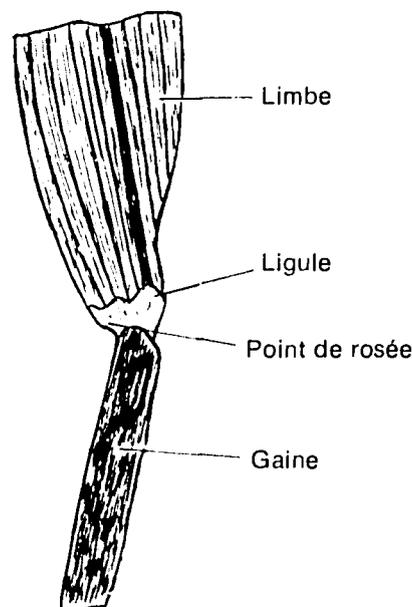


Figure 2.3: Feuille de sorgho.

Il existe une courte (1 à 3 mm) ligule membra-
neuse à la jonction du limbe avec la gaine (Fig.2.3).

Les feuilles des espèces sauvages sont fréquem-
ment longues (30 à 75 cm) et étroites (0,5 à 7 cm de
large).

Inflorescence

Panicule

La panicule peut être courte et compacte ou bien
lâche et ouverte : de 4 à 25 cm ou plus de long sur 2 à
20 cm ou plus de large. L'axe central de la panicule
ou rachis peut se trouver complètement masqué par
la densité des branches secondaires de la panicule
ou être complètement exposé. Le rachis est très
variable morphologiquement : de long et mince à
trapu et robuste. Il peut être strié (fréquemment
canaliculé) et velu ou glabre. Un certain nombre de
branches secondaires prend naissance à chaque
noeud, chacune pouvant varier en longueur, étant
trapue ou grêle, rigide ou souple, velue ou quasi-
glabre, ramifiée près de sa base ou non jusqu'au
voisinage du sommet. La panicule ordinairement
croît verticalement au sommet du chaume, mais
peut aussi se recourber.

Les sorghos sauvages et les sorghos adventices
ont des panicules plutôt lâches aux branches
étalées. Les panicules sont souvent grandes et de
forme pyramidale.

Racème

Le racème consiste toujours en un ou plusieurs
épillet. Un épillet est toujours sessile et l'autre

pedicellé (Planche 4-5) à l'exception de l'épillet ter-
minal qui est sessile et flanqué de deux épillets
pedicellés. Les racèmes sont de longueur variable
en rapport avec le nombre des noeuds et la longueur
des entre-noeuds. Il y a de 1 à 4 noeuds chez cer-
taines espèces et de 5 à 8 en d'autres; les entre-
noeuds varient de longueur, épaisseur et pilosité
suivant les espèces. Les pédicelles des épillets
pedicellés sont longs de 0,5 mm à 3,0 mm et ordi-
nairement sont très semblables aux entre-noeuds.

Epillet sessile : Sa forme va de lancéolée à pres-
qu'arrondie et ovale (Fig. 2.4) et est parfois
déprimée dans la région médiane. La couleur est
verte à la floraison, passant aux nuances paille,
crème, chamois, jaune, rouge, brun, pourpre ou
presque noir à maturité de la graine. L'intensité et
l'extension de la coloration sur les glumes est varia-
ble. La pilosité des glumes va de très abondante à
presque nulle (Planche 4-5). Les glumes sont dures
et coriaces dans la plupart des espèces avec des
nervures fréquemment peu marquées sauf près du
sommet (Planche 4-5). Quelques espèces ont des
glumes minces et cassantes, tandis que chez d'au-
tres elles sont minces et papyracées. La glume
inférieure est en générale un peu aplatie et corres-
pond plus ou moins à la taille de l'épillet, alors que la
supérieure est plus convexe, ou en forme de nacelle.
La graine peut être complètement entourée par la
glume ou faire saillie, étant juste visible ou presque
complètement exposée.

Il y a deux glumelles, chacune constituée par un
tissu délicat blanc, facilement non repérées lors
d'un examen non approfondi. La glumelle inférieure
est elliptique ou oblongue, à peu près de même
longueur que la glume (Planche 2-3); la glumelle
supérieure est plus courte, plus ovale et peut être

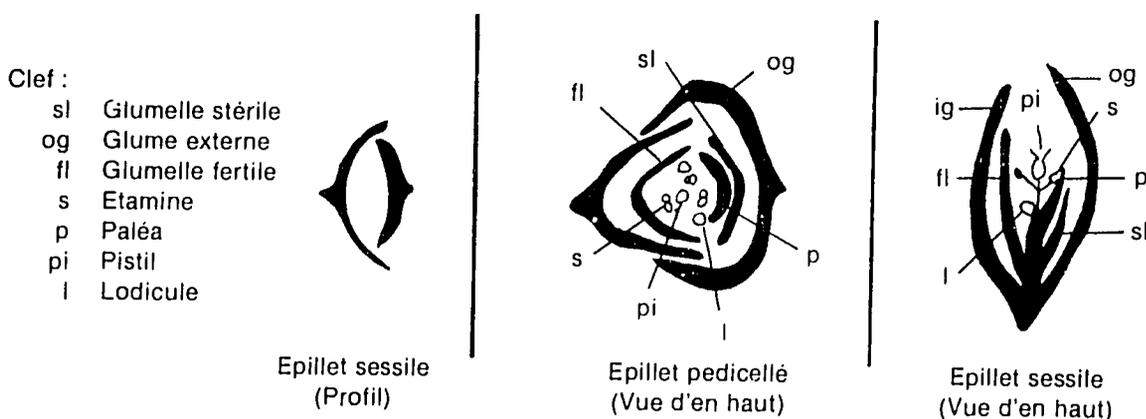


Figure 2.4: Constituants des épillets sessiles et pedicellés. L'épillet stérile ou pedicellé est représenté par des glumes vides (Source : Progress Report n°5, Programme sur la physiologie du sorgho, Université du Nebraska, Etats-Unis).

aristée. Il existe aussi deux lodicules et une paléa, mais ces pièces sont très réduites et de peu d'intérêt.

Le sorgho a deux pistils et trois étamines (Planche 4-6). Chaque stigmate plumeux est porté par un style court et robuste partant de l'ovaire (Planches 4-2 et 8-4). Les anthères sont portées par de longs filets filiformes (Planche 4-2).

Graine (caryopse) : La graine est plus ou moins sphérique, à un peu aplatie sur une face (en carapace de tortue). La couleur du péricarpe est fortement variable (rouge, brun, blanc, jaune, crème). Le péricarpe a un aspect soit mat soit nacré. Le testa peut aussi être coloré ordinairement en rouge foncé au brun foncé. L'endosperme est le plus souvent blanc, quelquefois jaune. La coloration jaune de l'endosperme est due à des pigments caroténoïdes donnant assez peu de vitamine A. On note souvent l'existence de deux lignes assez distinctes allant du sommet à la base de la graine. L'emplacement de l'embryon (scutellum) se marque sur le grain sur

une longueur allant de la moitié au deux tiers de la longueur, par une trace elliptique à elliptique-oblongue, concave à plate, ou (rarement) convexe (Planche 2-4). Le hile est situé à la base de la graine sur le côté opposé à celui de l'embryon. Le hile, fréquemment passe au noir au moment où la graine atteint sa maturité physiologique. La texture de l'endosperme varie du tendre avec des zones un peu cornées, au corné complet. La taille de la graine va de très petite (100 graines pesant moins de 1 g) à grande (100 graines pesant de 5 à 6 g) (Planche 4-7).

Épillets pédicellés : Ils sont beaucoup plus étroits que les épillets sessiles, de forme lancéolée en général. Ils peuvent être plus petits, de la même taille, ou plus longs que les épillets sessiles (Planche 4-5). Ils sont de sexe mâle, ou neutre, encore qu'ils puissent avoir (mais très rarement) un ovaire rudimentaire. Les lemmas sont de taille très réduite et ce n'est que rarement que la lemma supérieure est aristée.

Planche 2. Le plant de sorgho

(Les numéros 1, 5 et 6 ont été retirés de cette planche, comme n'étant pas en rapport avec ce volume—La rédaction.)

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>2-2. Fleuron complètement développé—graine et glumes</p> <p>2-3. Différentes parties du fleuron de sorgho :
a - glume inférieure
b - glumelle inférieure
c - glume supérieure
d - glumelle supérieure (cachée à l'intérieur de la glume) aristée
e - graine située entre les glumelles supérieure et inférieure</p> <p>2-4. Graine de sorgho (<i>caryopse</i>) :
a - L'embryon est apparent sur cette graine.
b - Le hile noir est visible à la base de la graine. La coloration noire du hile est l'indication que la graine a atteint sa maturité physiologique; la formation de la couche noire peut être utilisée comme indiquant la maturité physiologique (poids sec maximum).</p> <p>2-7. Section longitudinale d'une graine de sorgho montrant :
a - le péricarpe, b - l'endosperme, c - l'embryon.</p> | <p>2-8. Section transversale d'une graine de sorgho montrant :
a - le péricarpe
b - l'endosperme
c - l'embryon</p> <p>2-9. Graine de sorgho en germination montrant :
a - le coléoptile
b - la racine primaire
c - la graine</p> <p>2-10. Divers stades de développement :
a - extrémité de la feuille primaire
b - le coléoptile
c - la graine
d - les racines primaires</p> <p>2-11. Divers stades de développement :
a - feuilles
b - fin du développement du coléoptile
c - mésocotyle
d - graine
e - racines primaires
f - racines secondaires ou latérales</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

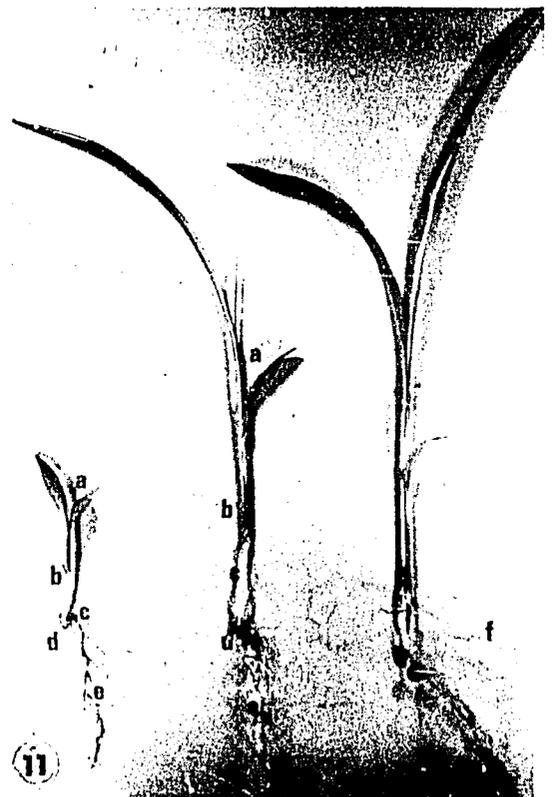
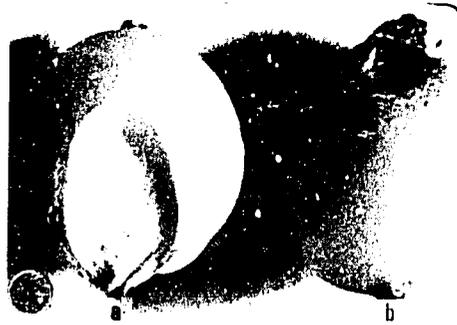
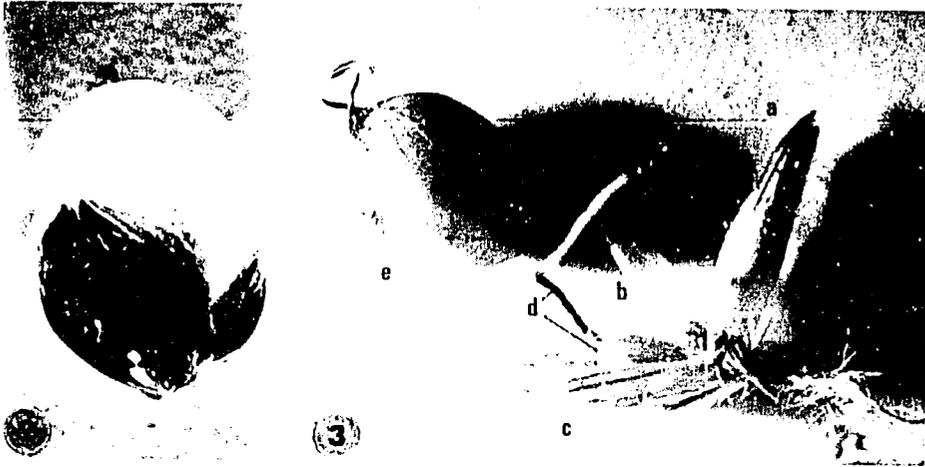
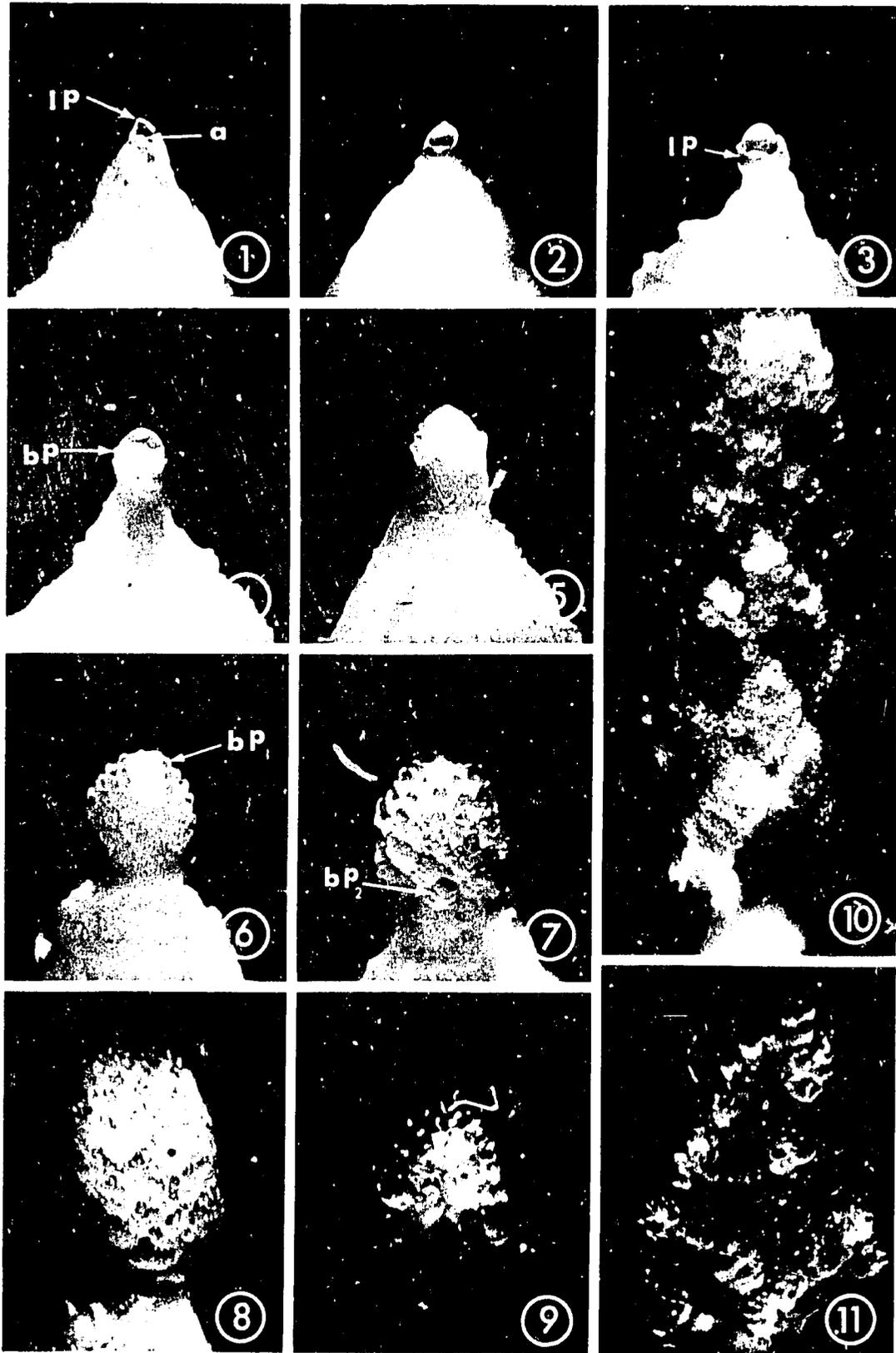
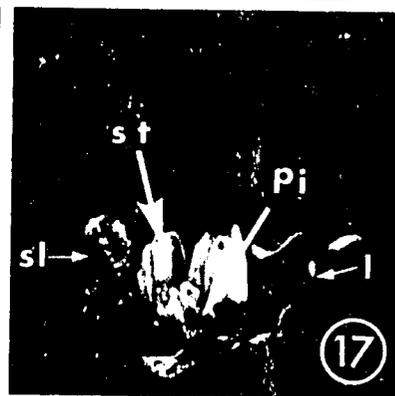
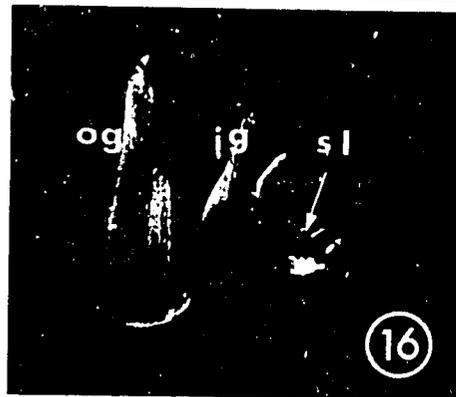
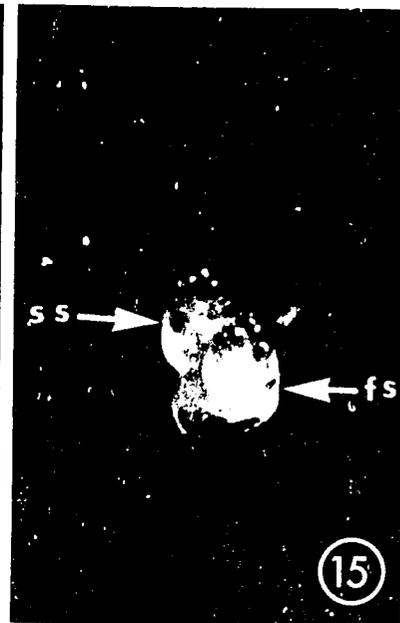
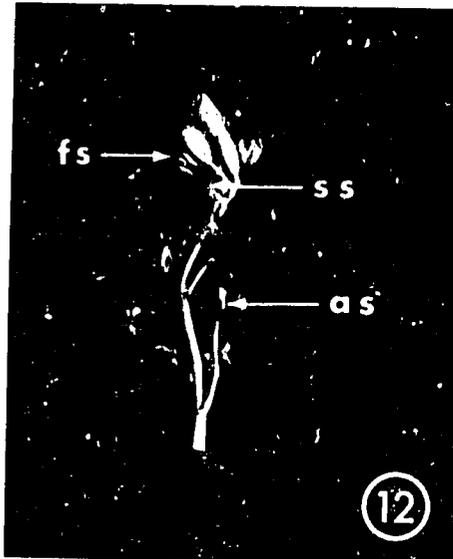


Planche 3. Développement de la panicule de sorgho

- 3-1. Ebauche foliaire (lp) et extrémité du point végétatif (a) du sorgho.
- 3-2, 3-3. Début de l'allongement du méristème apical avant le développement floral.
- 3-4, 3-5. Différenciation des primordia d'une ramification primaire (bp_1) sur le point floral.
- 3-6. Développement floral montrant les primordia d'une ramification primaire sur l'ensemble du point végétatif.
- 3-7. Différenciation des primordia des ramifications secondaires (bp_2) sur les primordia des ramifications primaires.
- 3-8. Panicule portant des primordia de ramification secondaire, bien développés.
- 3-9. Rameau de panicule portant des primordia de rameaux secondaire et tertiaire.
- 3-10. Panicule commençant à s'allonger; développement des ramifications bien visibles.
- 3-11. Ramification d'une panicule.
- 3-12. Ramification d'une panicule à maturité montrant l'épillet sessile fertile (fs) et l'épillet pédicellé stérile (ss).
- 3-13. Stade de développement de l'épillet montrant les primordia de la glume interne (ig) et de la glume externe (og).
- 3-14. Primordia des étamines (st). Ils apparaissent comme trois points brillants en lumière latérale.
- 3-15. Primordia de l'épillet sessile fertile (fs) et de l'épillet pédicellé stérile (ss).
- 3-16. Glume externe (og), glume interne (ig) et glumelle inférieure stérile (sl).
- 3-17. Stade de développement des glumelles supérieure (l) et inférieure stérile (sl), de l'étamine (st) et du pistil (pi).
- 3-18. Pièces florales : glume externe (og), glume interne (ig), glumelle stérile (st), glumelle supérieure (l), réceptacle (r), paléa (p), lodicules (lo), étamines (st) et pistil (pi).
- 3-19, 3-20. Ramification de la panicule à deux stades de développement : U = sommet de l'inflorescence, M = région médiane, B = base.
- 3-21. Une panicule complètement développée.

(Clichés obligeamment communiqués par R.C. Lommasson et K.W. Lee, Département de Botanique; et J.D. Eastin, Département d'Agronomie de l'Université du Nebraska, Lincoln, Nebraska.)





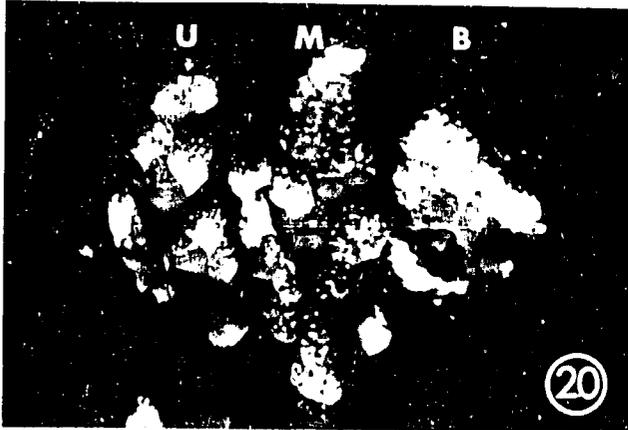
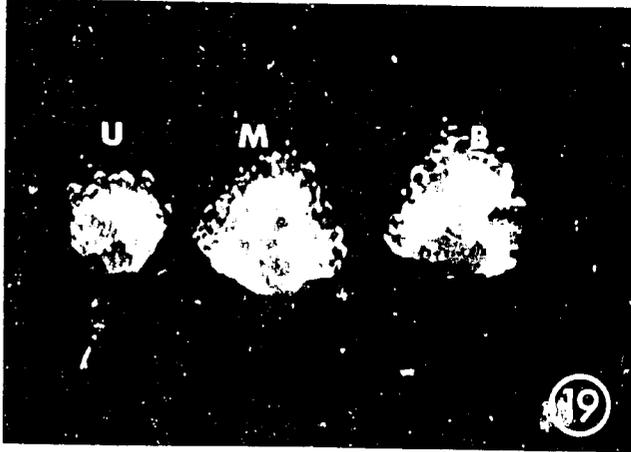
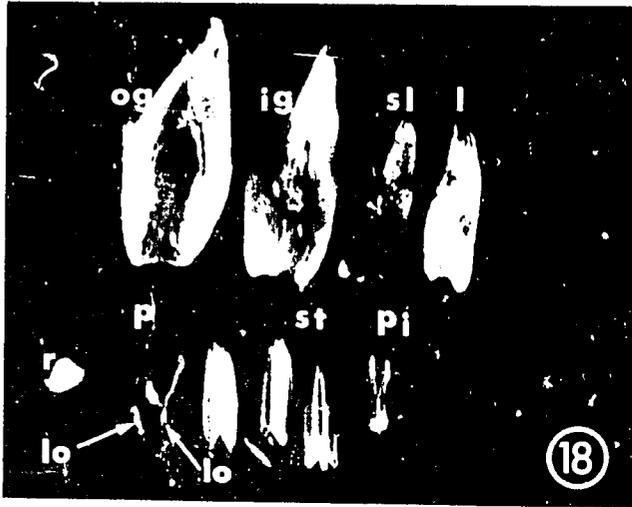


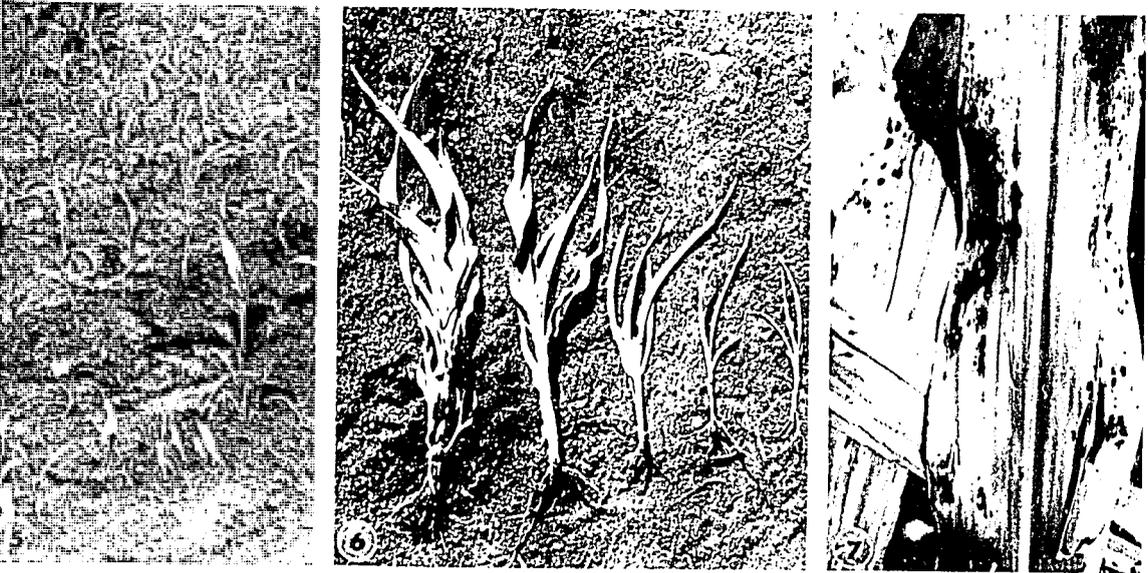
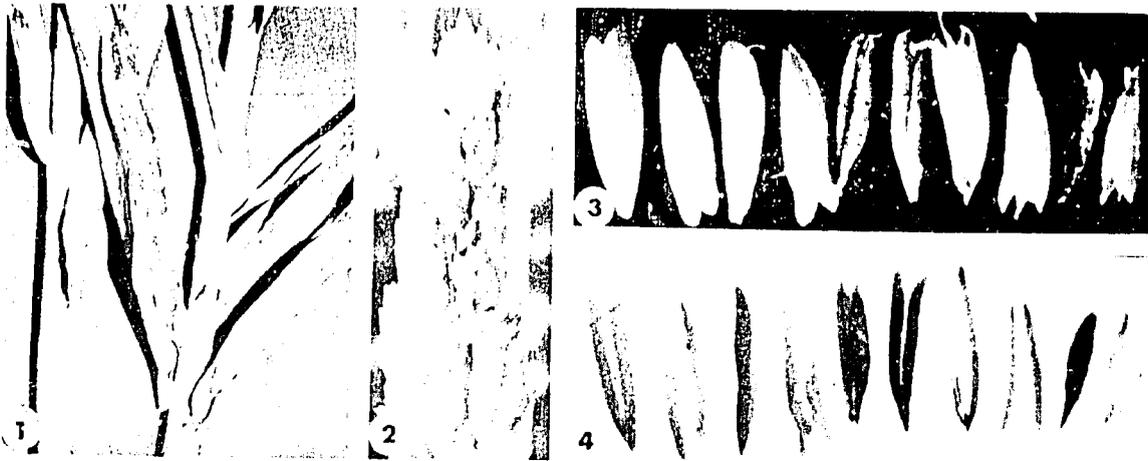
Planche 4. Le plant de sorgho

- 4-1. Un vigoureux plant hybride F₁. L'adaptation correcte se traduit par une panicule de bonne taille, avec une bonne exsertion de la feuille paniculaire.
- 4-2, 4-3. Panicule en floraison. La floraison débute au sommet et progresse en descendant; la floraison est totale au bout de quatre à cinq jours (3). Les stigmates plumeux et les anthères sur une petite portion de la panicule en floraison, sont visibles sur la photographie 2
- 4-4. Une ramification de la panicule montrant les branches secondaires et tertiaires.
- 4-5. Extrémité d'une ramification tertiaire montrant des épillets sessiles et pédicellés. Il y a deux épillets pédicellés terminaux flanquant la fleur terminale et un avec les fleurs subterminales :
- a - épillets sessiles
 - b - épillets pédicellés avec des fleurs terminales
 - c - épillets pédicellés avec des fleurs subterminales
 - d - pédicelle
 - e - extrémité d'une ramification de la panicule
 - f - ramification de la panicule
- 4-6. Fleur ouverte; remarquez les deux stigmates duveteux et les trois anthères.
- 4-7. Variation de la taille de la graine chez le sorgho. Les graines de la rangée du milieu sont de la variété kafir 60, et représentent la taille moyenne des graines. Les plus grosses sont de la variété soudanaise, Mugud.
- 4-8. Pousses axillaires; certaines variétés ont plus tendance que d'autres à former de telles pousses, en particulier lorsque la tige fleurie principale est détruite.
- 4-9. Bourgeon axillaire chez le sorgho. (Un petit morceau de papier noir a été placé sous le bourgeon pour améliorer le contraste de la photo).
- 4-10. Talles nées à la base de la touffe.
- 4-11. Très jeune panicule à deux stades précoces du développement.



Planche 5. Quelques particularités morphologiques et physiologiques

- 5-1. Feuilles et tiges du sorgho sont couvertes d'une pruine cireuse. Cette pruine peut être assez marquée chez quelques variétés. Elle s'enlève facilement par frottement et se retrouve sur les vêtements de quiconque passant dans le champ.
- 5-2. Stérilité complète. Parfois, chez les plants mâles-stériles, la portion terminale de l'inflorescence devient blanche et à la fois mâle-stérile et femelle-stérile. La raison de ce phénomène est inconnue. Il peut survenir dans une zone donnée (même sur un champ donné) et ne plus se produire durant une longue période.
- 5-3, 5-4. Anthères provenant de plants normaux (4 à gauche), de plants semi-stériles (4 au centre) et de plants mâle-stériles (2 à droite). Le pollen provenant de plants semi-stériles peut être fertile. Les anthères des plants mâles-stériles, lorsqu'elles sont ratatinées et de couleur noire, ne fourniront pas de pollen viable. La photographie 4 a été prise avec un éclairage direct par en-dessous des anthères.
- 5-5. Plants cultivés dans un climat frais pendant une période de jours courts. Cette variété croissant dans ces conditions va fleurir alors que les plants sont très petits et peu feuillus. (Quelques plants au premier plan sont au stade épisaison, et l'un à l'arrière plan est en fleur.)
- 5-6. Vigueur de la plantule. C'est une caractéristique importante du sorgho. On peut concevoir un barème, par exemple de 1 à 5, pour permettre au sélectionneur de prendre note de ce caractère.
- 5-7. Affection physiologique foliaire. Les taches sont de même couleur que le plant et les feuilles sont chlorotiques. On soupçonne que ce phénomène est dû à des conditions de sol.
- 5-8. Problèmes de photopériode. Les plants situés au premier plan ont produit des graines, tandis que la rangée des plants robustes à l'arrière-plan est encore au stade végétatif. L'examen montre que le point végétatif est très près du sommet de la plante. Des plants photosensibles réagiront de la sorte s'ils sont plantés en mars-avril à 10° lat., de mi-janvier à mai à 18° lat., et en culture estivale à 30-45° lat.
- 5-9. Rangée de plants non adaptés (comme celles de la photo 8), avec de grandes et larges feuilles, un grand nombre de feuilles, des tiges épaisses, et parfois une prolifération de racines adventives, comme on peut le voir ici.
- 5-10. Verse, caractéristique très importante défavorable commercialement. Une échelle de notation de la verse doit être établie par le sélectionneur. On peut suggérer les catégories : 0-5; 5-10; 10-25; 25-50; 50-75; 75-90; 90-95; 95-100. Il est plus facile d'apprécier 0 à 5% de verse que 50 à 55% d'où les limites choisies pour les catégories.



Troisième partie

Génétique

Les principes de la sélection végétale tirent leur origine de la science fondamentale de la génétique. Ainsi une connaissance active de cette science est-elle indispensable à une bonne compréhension des procédés de sélection. Ce chapitre est consacré à la présentation générale et à l'étude des concepts de génétique les plus importants pour le sélectionneur, y compris les discussions sur l'hérédité mendélienne et les facteurs modifiant les fréquences géniques. Les forces de l'évolution dans la nature qui modifient la fréquence des gènes (c'est-à-dire la sélection, la migration et la mutation) agissent généralement sur une longue période. Le sélectionneur de plantes utilise ces forces, de façon contrôlée, pour modifier les fréquences dans une direction donnée et dans un délai assez court.

De nombreux concepts exploités par le sélectionneur pour ses travaux sur l'amélioration du sorgho sont décrits ici. Les mécanismes de la mitose et de la méiose sont tout d'abord exposés, suivis d'une discussion sur la génétique mendélienne. L'hérédité pour un seul facteur est brièvement décrite ainsi que l'hérédité des caractères quantitatifs. Les fréquences géniques ainsi que les forces les modifiant sont ensuite étudiées, avec pour conclusion une discussion sur la génétique du sorgho.

Il n'est pas toujours facile de saisir ces concepts, mais une fois compris ils aideront le lecteur dans sa compréhension de nombreux aspects de la sélection végétale. Une étude spéciale de ce sujet est donc conseillée, peut-être par la lecture d'ouvrages supplémentaires tels ceux cités en bibliographie.

La première section de la troisième partie, sur la génétique de Mendel a été rédigée par Geoff Hawtin et révisée par J.P. Moss et les sections suivantes sur la génétique quantitative et la génétique des populations sont dues à L.R. House.

Génétique fondamentale

Variation biologique

La variation biologique constitue la base de l'évolution; elle est exploitée par les sélectionneurs à des fins de commande et de contrôle des processus de l'évolution lors de la mise au point de nouvelles variétés. Le sélectionneur base ses observations et

ses sélections sur les mesures du phénotype. On peut définir le *phénotype* d'un organisme comme ses propriétés observables—des caractères tels la hauteur de la plante, son nombre de feuilles, la couleur de ses fleurs, la forme de ses anthères, son taux de croissance, etc.

Le phénotype d'une plante dépend de deux facteurs :

- le *génotype*, la constitution génétique de la plante; et

- le *milieu*, qui modifie l'expression du génotype.

Pratiquement tous les caractères se combinant pour former le phénotype d'une plante présentent un certain degré de variation généralement faible résultant de la variabilité du génotype ou du milieu ou des deux. Ces variations de propriétés observables chez la plante sont appelées *variabilités phénotypiques*. La variation due aux différences de génotypes est appelée *variabilité génétique* et celle due au milieu *variabilité due au milieu*.

Le degré de variabilité d'un caractère particulier peut être mesuré grâce à une donnée statistique, la *variance* (le carré de l'écart type). La variance phénotypique (V_p) est la somme de la variance génétique (V_g) et de la variance due au milieu (V_e); ainsi $V_p = V_g + V_e$.

Si des plantes possédant des génotypes identiques sont cultivées dans des conditions de milieu différentes alors la variation observée au niveau du phénotype d'un caractère particulier sera entièrement due aux effets du milieu. Dans ce cas, $V_g = 0$ (zéro) et $V_p = V_e$.

Si, par contre, des plantes de génotypes différents sont cultivées dans le même milieu, alors la variabilité phénotypique observée sera entièrement le résultat des différences génétiques des plantes. Dans ce cas-là $V_e = 0$ et $V_p = V_g$. Il est, évidemment, pratiquement impossible de cultiver des plantes dans des milieux identiques : la variabilité du milieu peut rarement, si ce n'est jamais, être totalement éliminée.

Le sélectionneur, dans sa recherche de variétés améliorées, base ses observations et ses sélections sur les mesures du phénotype. La variabilité génétique est cependant très précieuse pour celui-ci puisqu'elle représente la fraction héréditaire de la variabilité totale. Le sélectionneur cherche à réduire, contrôler ou décrire avec précision la variabilité du milieu afin que les sélections basées sur des phénotypes supérieurs, soient en fait génétiquement supérieures.

La variabilité héréditaire étant extrêmement importante pour le sélectionneur, la plus grande partie des discussions qui vont suivre portera sur cet aspect de la variabilité phénotypique.

Les bases de l'hérédité

L'*hérédité* est le processus par lequel les caractéristiques des parents sont transmises à leurs descendants. On a vu que l'expression d'un caractère dans

un organisme dépend grandement du *génotype* (la constitution génétique) de cet organisme, bien que son expression puisse être modifiée par les effets du milieu.

Si l'on croise, cependant, des parents de génotypes identiques, le génotype des descendants sera composé des parties de génotypes des deux parents. Ainsi, le génotype de la descendance peut être le même ou différent de celui des parents et le phénotype des descendants peut ressembler à un parent, aux deux ou à aucun.

La *génétique* étudie le degré de similitude ou de différence entre un descendant et ses parents. Elle essaie d'expliquer comment ces similitudes ou ces différences sont transmises de génération en génération.

L'information génétique ou héréditaire d'un organisme est contenue dans les *gènes*. On peut se représenter les gènes comme de très petits facteurs chimiques contrôlant le processus physiologique de l'organisme et donc son développement structural. Un seul gène peut gouverner un seul ou plusieurs caractères ou bien agir en combinaison avec d'autres gènes.

Les gènes sont portés par des *chromosomes* qui sont des corps en forme de bâtonnet ou de filament présents au sein du noyau cellulaire. Chaque espèce possède un nombre de chromosomes caractéristique et chaque gène spécifique est situé sur un chromosome spécifique et à un emplacement spécifique (le *locus*) sur ce chromosome.

Un gène peut exister sous différentes formes, conférant à la plante des caractères différents. Une forme de gène peut lui conférer la stérilité mâle génétique, l'autre la fertilité. On appelle *allèles* les diverses formes d'un gène occupant un locus donné.

Il existe deux séries identiques de chromosomes (chaque série est connue sous le nom de *génome*) au sein d'un noyau cellulaire : une série est issue du parent mâle et l'autre du parent femelle. On appelle *chromosomes homologues* une paire de chromosomes qui se correspondent. Un gène consiste en un allèle occupant un locus particulier sur un chromosome issu du parent mâle et un allèle correspondant occupant le même locus sur le chromosome homologue issu du parent femelle. Si ces deux allèles sont les mêmes (par exemple, si les deux allèles confèrent la stérilité mâle chez le sorgho) le phénotype de la plante est alors déterminé par leurs effets, les descendants seront mâle-stériles, et on dit que ces plantes sont *homozygotes* pour ce caractère. Si les deux allèles sont différents, le phénotype peut alors être intermédiaire ou un

allèle peut dominer l'autre; dans ce cas, la plante est *hétérozygote* pour ce caractère.

Le nombre de chromosomes dans le *gamète* (pollen ou cellule oeuf) d'une espèce donnée est connu comme étant le nombre *haploïde* généralement représenté par la lettre *n* (chez le sorgho, $n = 10$). Le nombre chromosomique normal d'une plante est de $2n$, que l'on appelle le nombre *diploïde*. Ainsi, il y a $2n$ ou 20 chromosomes dans les noyaux des cellules de sorgho.

Les descriptions ci-dessous ont pour objectif d'offrir une idée plus claire du mode d'augmentation, au cours de la croissance de la plante, du nombre de cellules par mitose et de montrer comment des gamètes contenant des cellules haploïdes sont produits par méiose. Ces descriptions fournissent une base de discussion pour l'étude du mode d'hérédité de certains caractères :

Au cours de la formation du pollen et de l'ovule apparaît une division réductrice, la *méiose*. A la méiose, des cellules de n chromosomes sont produites à partir d'une cellule à $2n$ chromosomes. Ainsi pendant la plus grande partie du cycle d'une plante, chaque noyau cellulaire possède le nombre diploïde ($2n$) de chromosomes, sauf pour l'ovule et le pollen qui ont le nombre haploïde (n).

A la fécondation, les n chromosomes du pollen se combinent avec les n chromosomes de l'ovule pour produire une cellule (le *zygote*) possédant de nouveau le nombre diploïde ($2n$). La division connue sous le nom de *mitose* se produit avec la formation de nouvelles cellules à partir du zygote et pendant tout le développement de la plante parvenue à maturité. Pendant la mitose, les chromosomes $2n$ se répliquent exactement dans la nouvelle cellule.

Chez certaines plantes on peut constater un nombre de chromosomes plus élevé que le nombre diploïde; ce sont les *polyploïdes* (voir p. 51 ff.).

Mitose

La croissance de la plante est le résultat de deux phénomènes :

- une augmentation du nombre de cellules; et
- une augmentation de la taille des cellules.

La division cellulaire la plus active se produit dans le tissu, appelé *meristème*, situé principalement à l'apex des organes, par exemple, les extrémités des

racines. Deux processus étroitement liés président à la division cellulaire :

- la *mitose*, la division du noyau pour former deux noyaux, chacun possédant le même nombre chromosomique et un génotype identique à la cellule, mère; et
- la *cytokinèse* qui est la division du reste de la cellule.

La mitose se produit en une séquence précise d'événements, présentés dans la Figure 3.1.

Phases de la mitose

Interphase :

C'est le stade entre les divisions du noyau pendant lequel les chromosomes se répliquent prêts à la séparation qui se produit pendant la mitose.

Prophase :

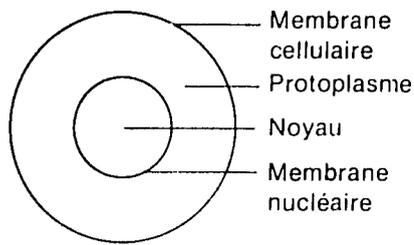
Au début de la prophase, les chromosomes apparaissent comme de longues structures en forme de filaments, se pelotonnant sur eux-mêmes, se raccourcissant et devenant plus distincts au fur et à mesure de la prophase. Vers la fin de la prophase, les chromosomes apparaissent comme compacts, ayant une forme ovale ou de bâtonnet, et tout à fait à la fin on peut voir que souvent le chromosome s'est divisé longitudinalement en deux unités séparées, les *chromatides*. Chaque chromosome présente une courte zone marquée par une constriction, appelée *centromère*.

Métaphase :

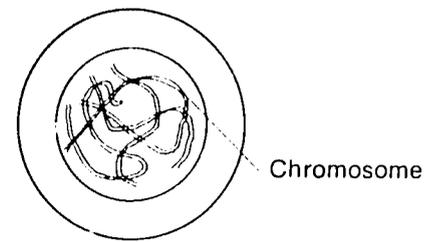
La membrane entourant le noyau cellulaire disparaît et les paires de chromatides se regroupent sur le plan médian de la cellule appelé *plan équatorial*. Une structure connue sous le nom de *fuseau* se forme, apparaissant sous forme de fibres fusoriales allant du centre des centromères de chaque chromatide à l'un des deux points aux pôles de la cellule appelés *asters*. Les deux chromatides d'un même chromosome sont attachées aux asters aux pôles opposés de la cellule.

C'est à ce stade que les chromosomes sont les plus distincts et les plus faciles à dénombrer.

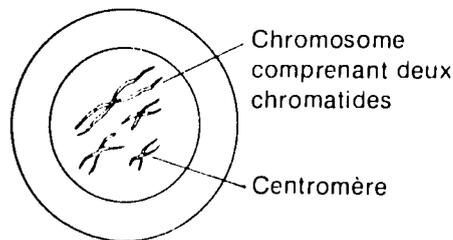
1. Interphase : Stade entre les divisions mitotiques.



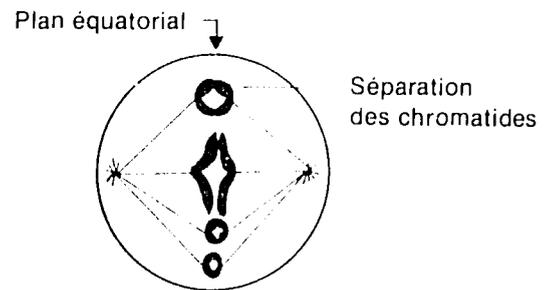
2. Début de la prophase : les chromosomes apparaissent comme de longues structures en forme de filaments.



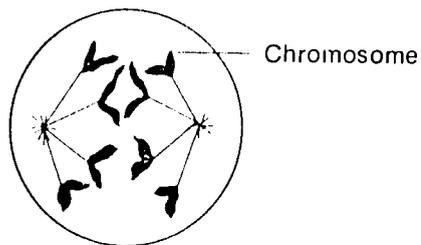
3. Fin de la prophase : les chromosomes se raccourcissent et deviennent plus distincts. Chaque chromosome comprend 2 chromatides.



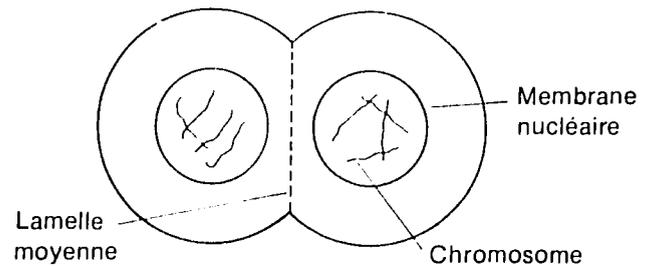
4. Métaphase : la membrane nucléaire disparaît et le fuseau se forme. Les chromosomes se regroupent sur le plan équatorial où ils sont clairement visibles.



5. Anaphase : les deux séries de chromosomes fils commencent à s'allonger en s'approchant des pôles opposés de la cellule.



6. Télophase : les chromosomes ont atteint les pôles et une membrane nucléaire se forme autour de chaque noyau. Une membrane cellulaire (lamelle moyenne) se forme entre les deux cellules filles.



7. Interphase : Les deux cellules filles sont complètement formées. Les chromosomes ne sont plus visibles.

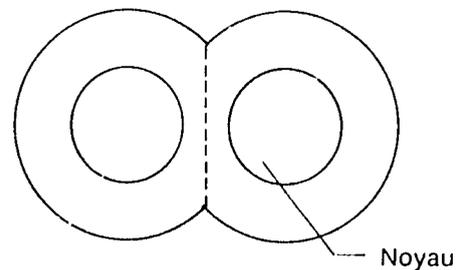


Figure 3.1: Phases de la mitose.

Anaphase :

Au cours de l'anaphase les chromatides se séparent, tout d'abord aux centromères, puis se regroupent vers les pôles respectifs du fuseau. Chaque chromatide peut maintenant être considérée comme un chromosome séparé. Elle se répliquera au cours de l'interphase pour former une seconde chromatide permettant ainsi la répétition du cycle mitotique.

Télophase :

Les chromosomes ayant maintenant atteint les pôles, une membrane nucléaire se forme autour de chaque noyau fils. Au stade final de la télophase le protoplasme cellulaire se divise (cytokinèse) avec formation d'une membrane autour de chacune des cellules filles.

Les stades prophase et télophase de la mitose sont relativement longs, alors que les stades métaphase et anaphase sont généralement très courtes. Tout le processus mitotique peut prendre quelques heures seulement ou peut durer deux à trois jours, suivant l'organisme et les conditions de milieu.

Méiose

Chacune des cellules parentales possède le nombre diploïde de chromosomes ($2n$). Au cours de la formation des grains de pollen et des ovules se produit une sorte de division appelée division réductrice ou *méiose*, produisant du pollen et des ovules possédant la moitié seulement de ce nombre (n)—le nombre haploïde. Au moment de la fécondation, le noyau d'un grain de pollen fusionne avec le noyau d'un ovule pour former le zygote: les n chromosomes du pollen fusionnent avec les n chromosomes de l'ovule et le zygote qui en résulte, comme le reste des cellules, possède le nombre diploïde de chromosomes ($2n$) (Fig. 3.2).

Les cellules à n chromosomes—le nombre haploïde, qui, fusionneront au moment de la fécondation sont appelées *gamètes*. Chez les plantes, les gamètes mâles sont les grains de pollen et les gamètes femelles sont les ovules (ou plus exactement la cellule oeuf dans l'ovule).

La méiose comprend deux phases : la méiose 1, au cours de laquelle la cellule parentale se divise pour former deux cellules filles, chacune possédant seulement moitié du nombre chromosomique; et la méiose 2, très similaire à la mitose sauf que les cellules concernées ont seulement le nombre haploïde de chromosomes. Ces deux divisions sont présentées dans la Figure 3.3.

On peut distinguer dans les méioses 1 et 2, comme pour la mitose, les stades de la prophase, de

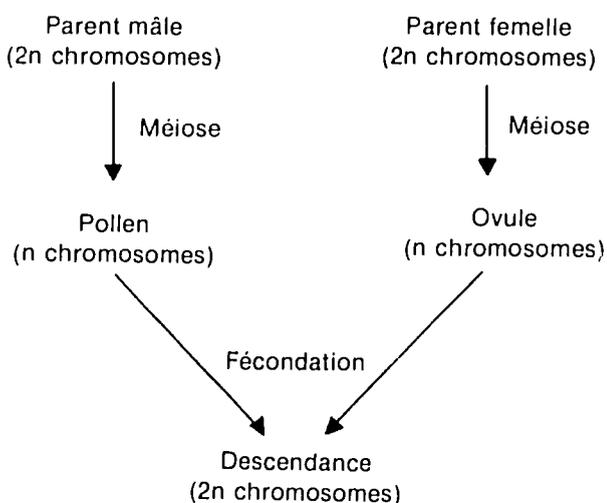


Figure 3.2: Méiose.

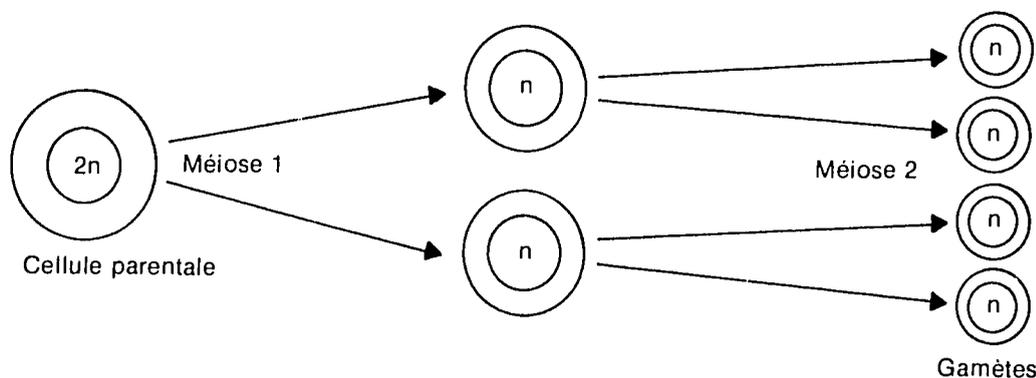
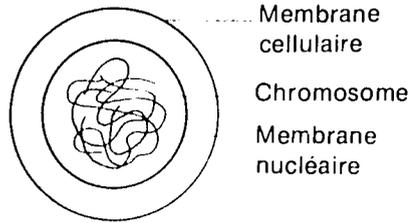
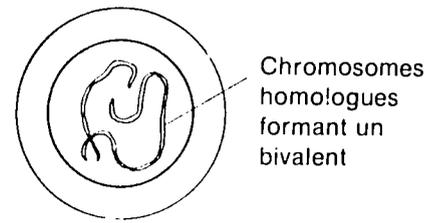


Figure 3.3: Les deux phases de la méiose.

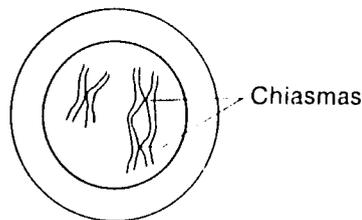
1. Tout début de la prophase 1 : les chromosomes deviennent visibles.



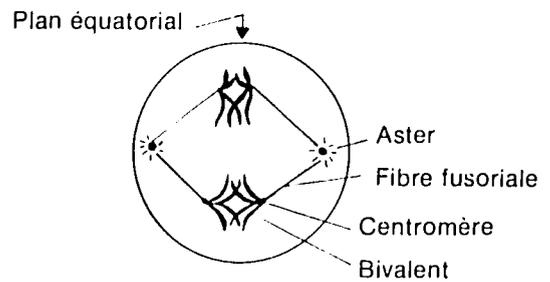
2. Début de la prophase 1 : les chromosomes homologues s'apparient pour former des bivalents



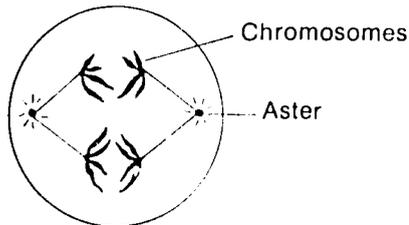
3. Fin de la prophase 1 : les chromosomes homologues de chaque bivalent se séparent et demeurent toutefois unis à des points de contact, les chiasmata.



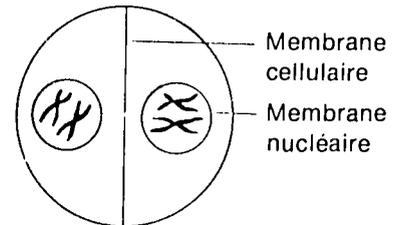
4. Métaphase 1 : les chromosomes se rangent sur le plan équatorial et sont attachés au fuseau. La membrane nucléaire disparaît.



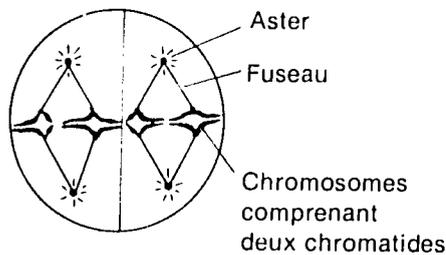
5. Anaphase 1 : les chromosomes, comprenant chacun deux chromatides, se déplacent vers les pôles opposés, les centromères les dirigeant.



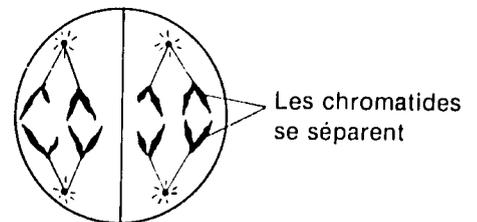
6. Télaphase 1 : une membrane nucléaire se forme autour de chaque série de chromosomes et la cytokinèse a lieu.



7. Métaphase 2 : la membrane nucléaire disparaît de nouveau et les chromosomes de chaque cellule se disposent sur le plan équatorial et sont attachés au fuseau.



8. Anaphase 2 : les chromatides se séparent et se déplacent vers les pôles opposés, comme pour la mitose.



9. Télaphase 2 : des membranes nucléaires se forment autour de chaque noyau et la cytokinèse a lieu, donnant naissance à quatre cellules filles.

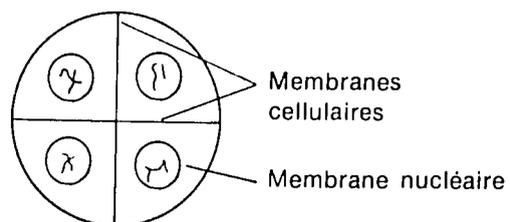


Figure 3.4: Phases de la méiose.

la métaphase, de l'anaphase et de la télophase. La Figure 3.4 présente les phases de la méiose que l'on peut résumer comme suit :

Phases de la méiose

Prophase 1 :

Cette phase longue est souvent divisée en plusieurs autres. Dans la cellule diploïde, une série (n) de chromosomes est dérivée du parent mâle et une série (n) de chromosomes du parent femelle. Les deux séries sont des duplicatas exacts; ainsi chaque chromosome de la cellule diploïde a un homologue identique quant à la structure, à la longueur et à la position du centromère et chaque allèle a un allèle correspondant sur l'autre chromosome. Cette paire de chromosomes constitue les chromosomes *homologues*.

Au cours de la prophase 1, les chromosomes deviennent visibles sous forme de structures filamenteuses et les chromosomes homologues sont disposés côte à côte de telle sorte que chaque segment de chromosome s'apparie avec le segment correspondant de son partenaire homologue. Une fois appariés ainsi, les deux chromosomes sont dits *bivalents*. Chaque chromosome se divise longitudinalement pour former deux *chromatides* reliées par leur *centromère* et la force d'appariement des chromosomes disparaît, ceux-ci demeurant toutefois unis en un ou deux points sur leur longueur. Ces points de contact sont les *chiasmata*.

Vers la fin de la prophase 1, les chromosomes deviennent très courts et distincts.

Métaphase 1 :

La membrane nucléaire se dissout, les chromosomes se disposent sur le plan équatorial et le fuseau se forme.

Anaphase 1 :

Un chromosome (possédant encore deux chromatides) de chaque paire homologue migre vers un pôle et l'autre chromosome se déplace vers l'autre pôle, le long des fibres fusoriales.

Télophase 1 :

Une fois que les chromosomes ont atteint les pôles,

les membranes nucléaires se forment autour d'eux et la *cytokinèse* (division cellulaire) a généralement lieu.

Interphase :

Il peut y avoir une courte interphase mais en général la deuxième division de la méiose suit presque immédiatement, simultanément dans les deux cellules.

Prophase 2 :

Cette étape est courte et les chromosomes déjà visibles passent rapidement à la métaphase 2.

Métaphase 2 :

La membrane nucléaire disparaît et les chromosomes se rangent sur le plan équatorial.

Anaphase 2 :

Les chromatides se séparent et se dirigent vers les pôles opposés.

Télophase 2 :

Après avoir atteint les pôles, chacun des quatre groupes de chromosomes est enfermé dans une membrane nucléaire. Une seconde cytokinèse a lieu et quatre cellules filles se forment, chacune possédant n chromosomes.

Gamétogenèse et fécondation

La formation des gamètes (pollen et oeuf) est connue sous le nom de *gamétogenèse*.

La formation des gamètes mâles : Dans les jeunes anthères on trouve un certain nombre de cellules diploïdes, les *cellules mères des grains de pollen*, se divisant par méiose pour former les grains de pollen haploïdes. Chaque cellule mère du pollen donne naissance à quatre grains de pollen. Puis, le noyau haploïde de chaque grain de pollen subit une autre division par mitose avec pour résultat deux noyaux pour chaque grain de pollen : le *noyau reproducteur* et le *noyau végétatif* chez le sorgho. Le pollen est à ce stade binucléé (c'est-à-dire à deux noyaux) à la déhiscence des anthères (lorsque celles-ci laissent échapper leur pollen).

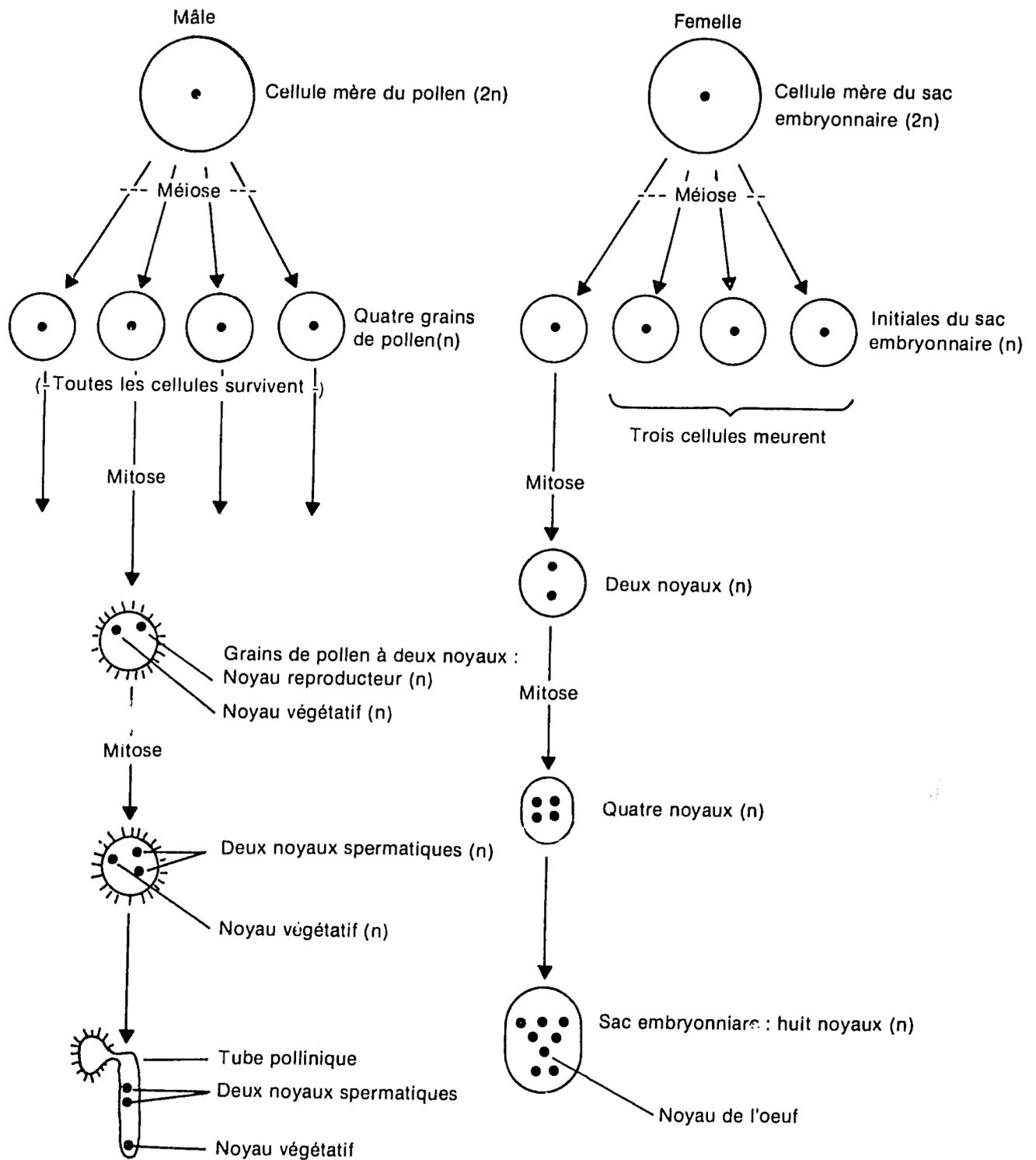


Figure 3.5: Gamétogenèse des plantes.

La formation des gamètes femelles : L'ovule comprend un certain nombre de cellules, dont une seule (l'oosphère) est réellement le gamète femelle. Dans chaque ovule, une cellule diploïde, la *cellule mère du sac embryonnaire*, se divise par méiose pour former quatre cellules haploïdes appelées les *initiales du sac embryonnaire*. Trois de ces cellules meurent et le noyau de la cellule haploïde restante se divise trois fois par mitose pour former une cellule appelée le *sac embryonnaire* qui possède huit noyaux haploïdes. Sur les huit, un seul devient l'oosphère, le véritable gamète femelle; deux des noyaux fusionnent pour former un noyau diploïde (produisant plus tard le *noyau de l'endosperme*), les cinq noyaux restants ayant d'autres fonctions. Le développement du pollen et de l'oosphère est présenté dans la Figure 3.5.

Fécondation

Après la pollinisation, lorsque le grain de pollen se trouve à la surface du stigmate, le noyau reproducteur se divise de nouveau par mitose. A ce stade le grain de pollen contient trois noyaux haploïdes : le *noyau végétatif* et les deux *noyaux reproducteurs*. Ensuite le grain de pollen germe et produit un tube (le *tube pollinique*) qui se développe le long du style et pénètre dans le sac embryonnaire par une petite ouverture, le *micropyle*.

Deux types de fécondation ont lieu : L'un des noyaux reproducteurs fusionne avec l'oosphère pour produire le zygote diploïde; l'autre noyau reproducteur fusionne avec le noyau de l'endosperme diploïde pour former un noyau triploïde ($3n$).

Après la fécondation, le zygote se développe par une série de divisions mitotiques pour former l'embryon dans la graine (les *cotylédons*, la *radicule* et la *plumule*) et le noyau de l'endosperme triploïde se divise par mitose pour donner le tissu de l'endosperme. Chez les monocotylédons, l'endosperme constitue souvent la principale partie de la semence.

Cette *double fécondation* introduit le matériel génétique du parent mâle dans l'embryon et l'endosperme. L'influence des gènes du parent mâle sur l'endosperme est la *xénie*, elle peut affecter des caractères tels la couleur de l'endosperme (par exemple, des graines jaunes sur un épi de maïs à graines blanches).

En plus de l'embryon ($2n$) et du tissu de l'endosperme ($3n$) des graines, des cellules diploïdes non fécondées de l'ovule se divisent également par mitose pour former une partie de la graine (le *testa*),

ce tissu n'étant pas influencé par les gènes du parent mâle.

Hérédité monofactorielle

Lois fondamentales

C'est Grégor Mendel, dont les travaux ont été publiés en 1865, qui a découvert les lois fondamentales de la génétique. A cette époque, les résultats de ses travaux n'ont pas été reconnus et ce n'est qu'en 1900 que les lois mendéliennes ont été redécouvertes, à la fois par de Vries en Hollande, Correns en Allemagne et Tschermak en Autriche.

Le succès de Mendel est largement dû au fait qu'il a systématiquement étudié dans ses croisements l'hérédité des caractères individuels un à un et qu'il a commencé avec des lignées issues d'autofécondation prolongée (appelées par la suite lignées homozygotes). Il a étudié par exemple, sept paires de caractères opposés chez des pois et découvert que l'hérédité était similaire pour chaque paire. Ces caractères sont :

- Des plantes à tiges hautes et à tiges courtes
- Des gousses vertes et jaunes
- Des gousses avec constriction et rondes
- Des ports indéterminés et déterminés
- Des cotylédons jaunes et verts
- Des téguments de graines lisses et ridés
- Des téguments de graines blancs et gris

Croisant une plante à tige haute et une plante à tige courte Mendel découvre que tous les descendants sont à tige haute. On appelle *première génération filiale* ou plus simplement F_1 , la génération suivant le croisement entre les deux parents. Dans cette génération le caractère qui s'exprime est le caractère *dominant*, et le caractère parental qui demeure masqué en F_1 , le caractère *récessif*. Ainsi, dans le croisement de Mendel, la tige haute est dominante et la tige courte récessive. De même, dans d'autres croisements, Mendel découvre que les gousses vertes sont dominantes et les gousses jaunes récessives; le port indéterminé dominant et le port déterminé récessif, etc.

La génération suivante, F_2 , est obtenue par autofécondation des plants F_1 (les pois sont généralement autogames); dans cette génération Mendel constate la présence des caractères des deux parents. Ainsi le croisement plante à tige haute \times plante à tige courte, donne en F_2 787 plantes à tige haute et 277 plantes à tige courte. Les mêmes pro-

portions d'environ 3:1 pour le caractère dominant: récessif sont observées pour les sept paires de caractères. On appelle *ségrégation* l'apparition des deux types de plantes dans F_2 .

Pour expliquer ces découvertes, Mendel considère que chaque caractère est gouverné par des unités appelées *facteurs*; il constate dans chaque plante la présence de deux facteurs pour chaque caractère.

Lors d'un croisement, chaque parent contribue pour un facteur à la génération F_1 . Si les parents possèdent des caractères différents, les deux facteurs de la F_2 seront différents et (généralement) l'un des facteurs s'exprimera et empêchera l'expression de l'autre facteur (Fig. 3.6). Le facteur qui s'exprime dans la F_1 est le facteur dominant, l'unité qui demeure cachée est le facteur récessif. Lors de la reproduction des plantes F_1 , les facteurs opposés se séparent (ou *se disjoignent*) pendant la formation des gamètes donnant lieu à deux types de gamètes. Au moment de la fécondation, les gamètes peuvent s'unir soit à un gamète de même type soit à un gamète porteur de facteur opposé.

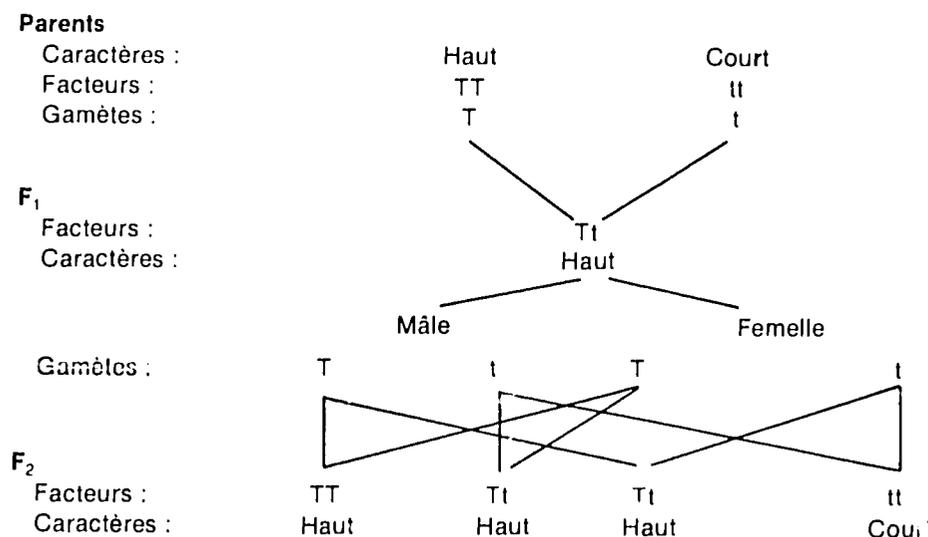
Dans le cas d'une plante hétérozygote, la moitié des gamètes contiendra un des facteurs et l'autre moitié l'autre facteur. (La moitié des grains de pollen portera le facteur à tige haute et l'autre moitié le facteur à tige courte.) A la fécondation les chances sont égales pour que l'un des facteurs du pollen s'unisse à l'un des facteurs de l'oeuf. Ainsi, chacune des quatre combinaisons F_2 peut se produire (Fig.

3.6). Si l'on étudie un nombre important de plantes F_2 , la proportion plantes à tige haute—plantes à tige courte sera très proche de 3:1. Mais, si l'on n'étudie que quelques plantes, le rapport exact peut être quelque peu différent. La Figure 3.6 montre que dans la population F_2 , il y a trois plantes à tige haute pour chaque plante à tige courte. Un tiers seulement de plantes à tige haute, cependant, possède la paire de facteur TT et les deux autres tiers les facteurs opposés Tt; cependant, les plantes sont encore à tige haute parce que le facteur tige haute (T) est dominant et le facteur tige courte (t) récessif.

Symboles

En génétique la convention est que le symbole utilisé pour un facteur donné soit la même lettre mais en majuscule pour le facteur dominant et en minuscule pour le facteur récessif; ainsi pour la stérilité mâle Ms_3 est dominant et ms_3 est récessif. De même Dw_1 est un facteur dominant pour la hauteur d'une plante et dw_1 est récessif. (Les gènes sont numérotés dans un ordre progressif lorsque plus d'un gène gouverne le même caractère dans un type de plante.)

Une plante possédant deux fois le même facteur pour un caractère (par exemple : $Ms_3 Ms_3$, $ms_3 ms_3$, $Dw_1 Dw_1$ ou $dw_1 dw_1$) est *homozygote* pour ce caractère mais si les facteurs sont différents ($Ms_3 ms_3$, Dw_1, dw_1 , etc) elle est alors *hétérozygote* (Fig. 3.7).



La proportion phénotypique dans ce cas est de 3 haut:1 court.

Figure 3.6: Générations après un croisement entre une plante de haute taille et une plante de petite taille selon le croisement de Mendel.

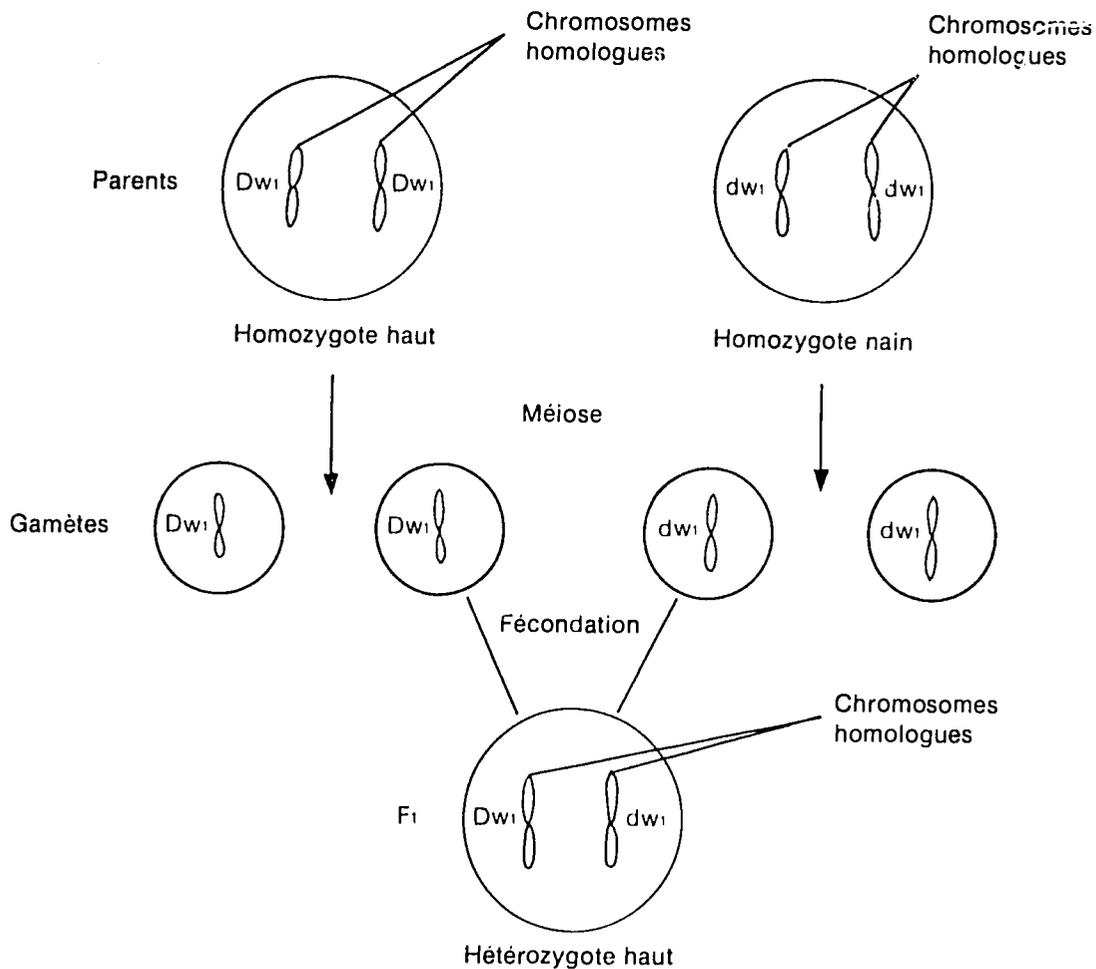


Figure 3.7: Séparation et union d'une paire de facteurs au cours de la formation des gamètes et fécondation.

Allèles

En génétique, les facteurs décrits par Mendel sont maintenant appelés allèles et on a montré que pour la plupart des utilisations pratiques les allèles se comportent en général de la même façon que les facteurs mendéliens. Une paire d'allèles gouvernant un caractère est située sur une paire homologue de chromosomes avec un allèle sur chaque. A la méiose 1, lors de la séparation des chromosomes, un allèle est transporté sur chaque chromosome dans la cellule haploïde. Ainsi, les gamètes ne possèdent qu'un seul allèle de la paire.

La constitution génétique d'une plante est le *génotype*. Dans le croisement étudié, il y a trois génotypes différents : TT, Tt et tt. Le *phénotype* d'une plante est le caractère observé de la plante, et dans cet exemple, il n'y a que deux phénotypes : à tige haute et à tige courte.

Dans la génération F_2 (Fig. 3.6), on observe une proportion 3:1 dans le phénotype (trois hauts et un court), le caractère dominant (haut) représentant la catégorie principale. Cette proportion est la *proportion phénotypique*. Les trois génotypes possibles, cependant, sont dans la proportion 1TT:2Tt:1tt, que l'on appelle la *proportion génotypique*. Les plantes présentant différents génotypes peuvent avoir le même phénotype, comme TT et Tt donnant tous deux des plantes à tige haute.

Une proportion phénotypique 3:1 et une proportion génotypique 1:2:1 sont typiques de l'hérédité des caractères régis par un gène unique avec un allèle dominant l'autre.

Phénotypes intermédiaires

Dans certains cas, un allèle ne domine pas l'autre, et la plante hétérozygote peut avoir un phénotype dif-

férent des deux parents homozygotes. Chez certaines espèces, un croisement entre une fleur rouge homozygote (RR) et une fleur blanche homozygote (rr) donnera une F₁ hétérozygote (Rr) pouvant être rose. Cette situation est illustrée dans la Figure 3.8. Dans ce cas, la proportion phénotypique est une rouge:deux roses:une blanche. La proportion génotypique est de 1RR:2Rr:1rr.

Ségrégation

Lorsqu'une plante est homozygote pour un caractère particulier, tous les gamètes portent le même allèle et dans ce cas l'autofécondation donne une descendance identique au parent.

Lorsque la plante est hétérozygote pour un caractère particulier, la descendance après autofécondation n'est pas identique au parent, car il y a production de deux types de gamètes, le dominant et le récessif (Fig. 3.9).

Ce processus par lequel une plante hétérozygote produit plusieurs génotypes différents est la *ségrégation*.

Croisement d'épreuve (testcross)

Une plante possédant le phénotype récessif (par exemple : nain) doit avoir le génotype récessif homozygote (dw₁dw₁). Une plante à phénotype dominant (haut) peut être homozygote dominant

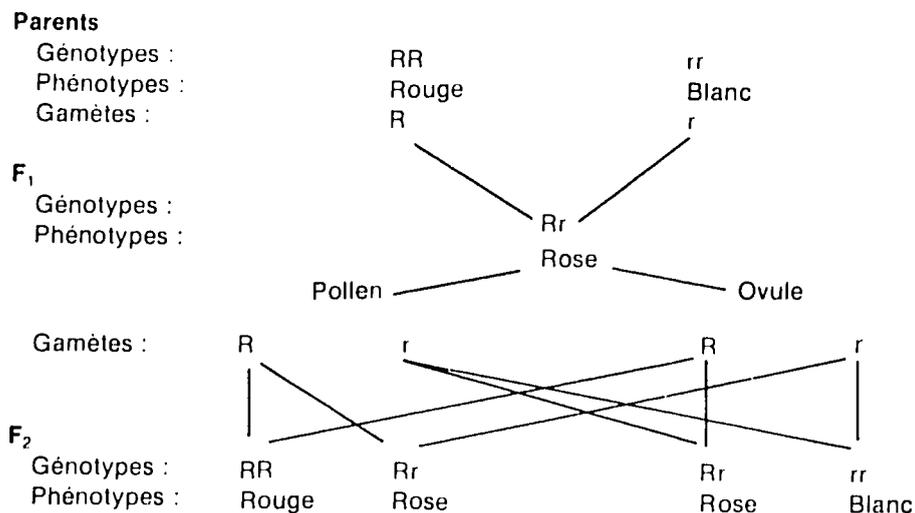
(Dw₁Dw₁) ou hétérozygote (Dw₁dw₁). Pour vérifier si une plante est homozygote à tige haute (dominant) ou hétérozygote, on peut recourir au *croisement d'épreuve* comportant le croisement de la plante avec le récessif homozygote (Fig. 3.10).

Si la plante est homozygote, alors toutes les F₁ seront à tige haute, mais si la plante est hétérozygote, la moitié des plantes sera à tige haute et l'autre moitié naine.

Réduction de l'hétérozygotie par autofécondation

Si l'on croise deux parents, l'un homozygote pour les caractères dominants et l'autre homozygote pour les caractères récessifs, toutes les plantes F₁ seront hétérozygotes. Si la génération F₁ est autofécondée la moitié des plantes en F₂ sont homozygotes Dw₁Dw₁ et dw₁dw₁ et la moitié sont hétérozygotes Dw₁dw₁. Dans la génération F₃ produite par autofécondation des F₂, les plantes homozygotes continuent à donner des individus identiques et les plantes hétérozygotes ont une descendance mi-partie d'homozygote et d'hétérozygote. Ainsi, dans la génération F₃, seul un quart des plantes sont hétérozygotes et les trois quarts sont homozygotes (Fig. 3.11).

Dans chaque génération successive après l'autofécondation, la proportion des plantes hétérozygotes est réduite de 50%. En sélection végétale, la production de variétés pures (variétés homozygotes



La répartition phénotypique est de 1 rouge:2 roses:1 blanc et la répartition génotypique est de 1 RR:2 Rr:1 rr.

Figure 3.8: Croisement comportant une seule paire d'allèles où la plante hétérozygote a un phénotype intermédiaire.

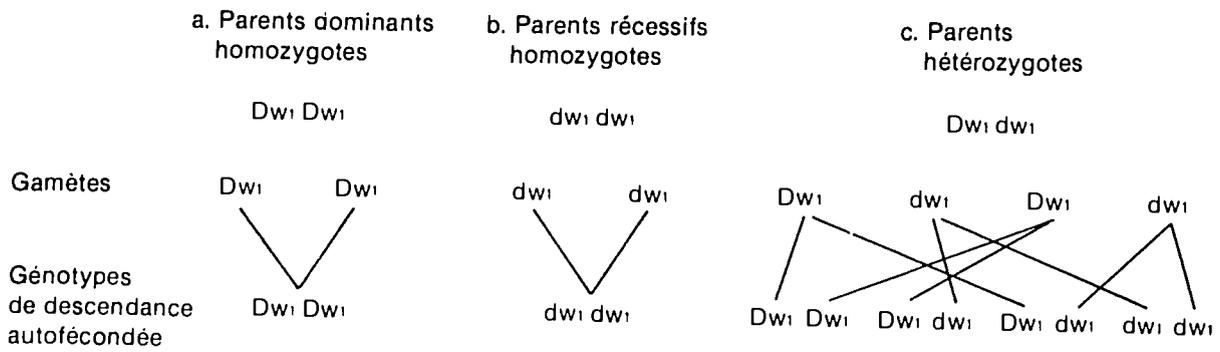


Figure 3.9: Autofécondation de plantes homozygotes et hétérozygotes.

donnant une descendance identique) peut être obtenue grâce à l'autofécondation pendant plusieurs générations (en général de 5 à 8) jusqu'à ce que l'hétérozygotie soit réduite à un niveau très faible.

Dans une population F_8 , la proportion de plantes hétérozygotes ne sera que de 0,78%.

Rétrocroisement

Le rétrocroisement est essentiellement un processus de transfert des gènes d'une lignée à l'autre. Avec chaque génération de rétrocroisement, la composition génétique du donneur (parent *non récurrent*) est réduite d'un facteur $(\frac{1}{2})^n$, où "n" est le nombre de générations de rétrocroisement. Par exemple, après la deuxième génération de rétrocroisement, la contribution génétique du parent non récurrent dans la descendance est réduite à un quart; $(\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$. Après la troisième génération, la contribution est réduite à $\frac{1}{8}$, etc. Au cours du programme de rétrocroisement, la sélection s'effectue pour le caractère recherché du parent non récurrent. Après cinq à sept générations de rétrocroisement, la lignée orig-

inale (parent *récurrent*) est retrouvée possédant en plus le caractère du parent non récurrent.

Supposons que le gène dominant "Aa" d'une lignée donneuse (parent non récurrent) doit être transféré dans une lignée agronomique élite (parent récurrent) possédant le gène récessif "aa". Le premier croisement AA x aa donne Aa en F_1 . La F_1 est ensuite croisée avec le parent récurrent aa; c'est-à-dire $F_1 \times aa = BC_1$. La descendance de BC est pour une moitié Aa et pour l'autre aa :

		Gamètes provenant de parent récurrent	
		a	a
Gamètes provenant de F_1	A	Aa	Aa
	a	aa	aa

Le deuxième rétrocroisement est effectué uniquement sur les plantes Aa; c'est-à-dire que les ségrégants Aa de la génération BC_1 sont croisés avec le parent récurrent aa. Il est évident que la descendance de ce croisement (BC_2) sera égale-

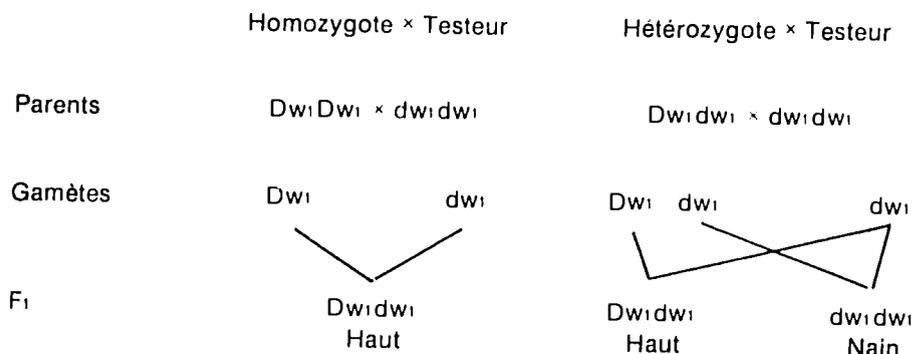


Figure 3.10: Croisement d'épreuve.

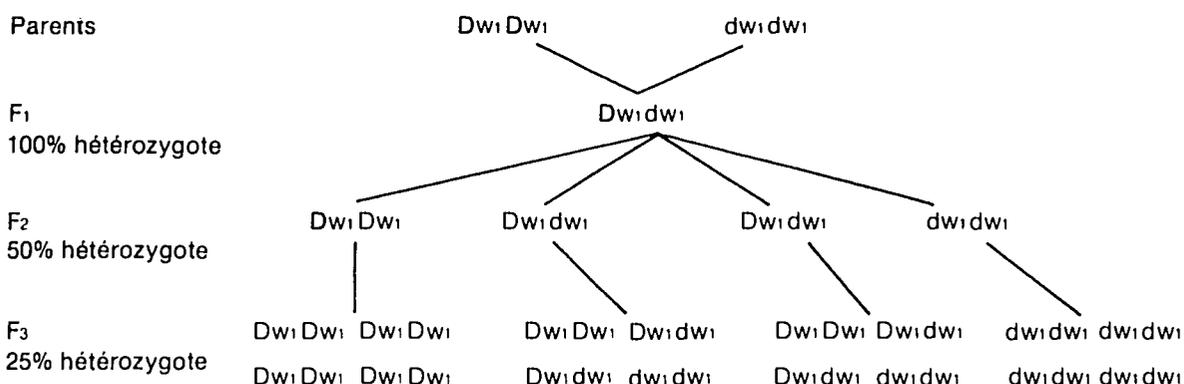


Figure 3.11: Réduction de l'hétérozygotie par autofécondation.

ment moitié Aa et moitié aa. Le rétrocroisement de chaque génération avec le parent Aa est poursuivi jusqu'à ce que le parent récurrent soit retrouvé possédant dans son génotype le caractère A.

Le problème apparaît un peu plus compliqué lorsque le caractère à transférer est récessif au lieu de dominant. Le caractère s'exprime phénotypiquement dans l'hétérozygote Aa lorsqu'il est dominant (A) mais non pas lorsqu'il est récessif (a). En cas de rétrocroisement continu, seuls quelques descendants seront aa après plusieurs générations—l'auto-pollinisation est nécessaire toutes les une ou deux générations de rétrocroisement pour permettre l'identification du ségrégant récessif dans la F₂. Le rétrocroisement ne se poursuit alors que sur les plantes présentant le caractère récessif. Admettons qu'un caractère récessif "a" doive être transféré dans une lignée agronomique élite.

La F₁ est obtenue par croisement du parent 1 (AA) avec le parent 2 (aa) : $AA \times aa$ donne la F₁ Aa, ou $P_1 \times P_2 \rightarrow F_1$.

Le premier rétrocroisement s'effectue par le croisement de la F₁ avec P₁ :

		Gamètes provenant de P ₁	
		A	A
Gamètes provenant de F ₁	A	AA	AA
	a	Aa	Aa

La descendance dans le premier rétrocroisement (BC₁) est : 2AA:2Aa, ou 50% AA, 50% Aa, tous les descendants présentant le caractère dominant. La descendance de BC₁ est alors autofécondée; quatre descendance AA seront issues des parents AA, et

on aura pour les parents Aa, 1AA:2Aa:1aa.

		BC ₁ homozygote				BC ₁ hétérozygote	
		A	A			A	a
A	A	AA	AA	A <td>AA</td> <td>Aa</td>	AA	Aa	
	a	AA	AA	a <td>Aa</td> <td>aa</td>	Aa	aa	

La descendance totale est la suivante : 5AA + 1aa + 2Aa soit sept descendants présentant le caractère dominant A pour un présentant le caractère récessif a.

Le second rétrocroisement est effectué en croisant P₁ (AA) avec le ségrégant récessif (aa) de BC₁F₂ (ou aa x AA) pour obtenir BC₂(Aa). Ce procédé est répété jusqu'à ce que soit retrouvé le phénotype original possédant le caractère aa.

Si le caractère à transférer est sous la dépendance de nombreux gènes (polygénique, ou hérédité quantitative) tout rétrocroisement est probablement impossible sur plus d'une ou deux générations avant qu'une nouvelle lignée soit sélectionnée par sélection généalogique. C'est parce que la ségrégation concerne de si nombreux gènes qu'il n'est pas possible de retrouver parmi le rétrocroisement ou les ségrégants F₂ des individus possédant tous les gènes du donneur ou parent non récurrent. Certains des gènes du caractère quantitatif étant perdus, l'expression de ce caractère diminue et le rétrocroisement répété devient impossible.

Le rétrocroisement est utile dans plusieurs cas, par exemple lorsque l'objectif de la sélection est la résistance aux insectes, aux maladies ou à la sécheresse et une teneur en lysine ou en protéine élevée. Première étape, il faut trouver les donneurs appropriés. Ceux-ci doivent, en général être recherchés en premier lieu dans les collections importantes de

matériel génétique plutôt que par la réalisation d'essais sur quelques lignées agronomiques sélectionnées. Une fois les parents trouvés, il faut déterminer le mode d'hérédité et/ou s'il y a dominance, en particulier si le caractère est gouverné par quelques gènes seulement. Cette information est utile pour déterminer les méthodes de sélection (en particulier le nombre de rétrocroisements pouvant être réalisés) et pour la sélection des parents non récurrents dans un programme de rétrocroisement.

En tant que méthode de sélection, le rétrocroisement est utilisé pour le transfert d'un caractère ou de caractère désirés à une autre lignée (généralement supérieure au point de vue agronomique). Que la lignée désirée puisse ou non être retrouvée avec uniquement la ou les modifications désirées, dépend du nombre de gènes gouvernant le ou les caractères à transférer et leur rapport avec les autres gènes (voir Linkage, p.45). Plus le nombre de gènes est réduit et mieux le caractère est exprimé, plus importantes sont les chances de retrouver le type original avec le ou les caractères supplémentaires.

Tout caractère donné ne possède pas nécessairement le même mode d'hérédité—des différences peuvent apparaître entre les variétés. On peut généralement prévoir que la variété possédant le plus petit nombre de gènes ou le plus important effet de dominance sera plus facile à utiliser dans un programme de rétrocroisement. Si l'on découvre 15 ou 20 lignées résistantes à une certaine maladie, l'hérédité de cette résistance chez ces lignées mérite d'être étudiée—une ou deux de ces variétés peuvent apparaître beaucoup plus intéressantes que d'autres dans un programme de rétrocroisement.

Le rapport entre le parent récurrent et le parent non récurrent est un fait important. Ainsi, si on découvre un caractère recherché dans un type kafir et un type durra, et que l'on désire transférer ce caractère à un kafir, il sera préférable d'utiliser la source kafir plutôt que la source durra comme parent non récurrent. L'utilisation du type kafir dans ce cas-là pourrait permettre de retrouver une lignée plus proche de celle recherchée (et plus rapidement). C'est un point important à considérer dans le choix des parents dans un programme de rétrocroisement.

Assortiment indépendant

En dehors de ses études sur un caractère unique, Mendel a étudié l'hérédité dans les croisements

entre des parents différents pour deux caractères. La F_1 issue d'un croisement de deux parents différents pour un seul caractère est appelée *monohybride* et *dihybride*, lorsqu'elle est le produit d'un croisement de parents différents pour deux caractères.

Ségrégation dihybride

Dans un croisement entre une plante à graines rondes et jaunes et une plante à graines vertes et ridées, Mendel découvre que la génération F_1 a des graines rondes et jaunes. Les caractères rond et jaune sont donc dominants et les caractères vert et ridé récessifs.

Dans les F_2 issues des F_1 par autofécondation, quatre combinaisons de phénotypes sont apparues :

315 ronds jaunes
108 ronds verts
101 ridés jaunes
32 ridés verts

En considérant les deux paires de caractères séparément, on peut voir qu'il y a 423 ronds, 133 ridés, 416 jaunes et 140 verts. Ces proportions sont d'environ 3:1, le rapport habituel pour un caractère régi par un gène unique.

Les quatre combinaisons phénotypiques sont le résultat de la superposition de deux rapports 3:1 et représentent une proportion 9:3:3:1. Ce que l'on peut démontrer de la façon suivante :

		Ronds ridés	
		3	1
Jaunes	3	9	3
	1	3	1

La catégorie la plus importante (rond et jaune) contient les deux caractères dominants; les catégories intermédiaires ont un caractère dominant (rond + vert ou jaune + ridé) et la plus petite catégorie est récessive homozygote pour les deux caractères (vert ridé).

On obtient ces résultats lorsque les deux paires de caractères se comportent de façon indépendante; c'est ce que l'on appelle *l'assortiment indépendant* qui donne des nombres égaux de gamètes YR, Yr, yR et yr. La Figure 3.12 montre

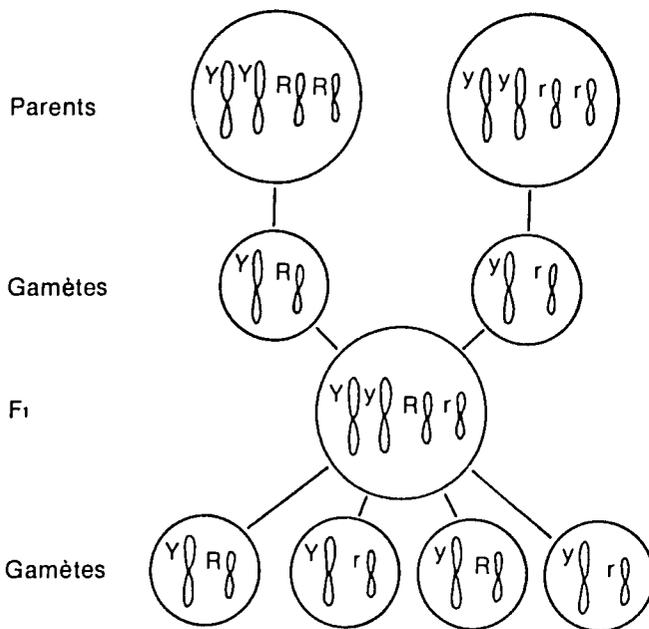


Figure 3.12: Assortiment indépendant des gènes.

comment une telle ségrégation indépendante se produit concernant les gènes sur les chromosomes.

La Figure 3.13 montre comment les gamètes F_1 peuvent s'unir pour produire les différentes catégories de F_2 . En haut du tableau, appelé "damier", sont inscrits les quatre types de gamètes femelles et dans la colonne de gauche les quatre gamètes mâles. Dans le corps du damier on trouve les génotypes résultant de l'union de chacun des gamètes mâles avec chacun de gamètes femelles. Les chances de production étant égales pour chaque gamète, les chances d'apparition du génotype dans chaque carré sont égales. Ainsi si un génotype particulier est présent dans deux carrés séparés (par exemple : $RRYy$), ce génotype a deux fois plus la possibilité d'apparaître dans la population F_2 qu'un génotype présent dans un seul carré (par exemple : $RRyy$).

La Figure 3.13 montre que les seize carrés du damier font apparaître neuf génotypes différents. Ces génotypes, ainsi que les proportions de génotypes, les phénotypes et les proportions de phénotypes sont les suivants (Fig.3.14).

Croisement d'épreuve des dihybrides

On a vu précédemment que le génotype d'une plante peut être déterminé grâce au croisement d'épreuve—croisement avec une plante récessive

		Gamètes femelles			
		RY	Ry	rY	ry
Gamètes mâles	RY	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
	Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
	rY	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
	ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

Figure 3.13: La génération F_2 d'un dihybride F_1 autofécondé (génotype $RrYy$).

Génotype	Proportion de génotype	Phénotype	Proportion de phénotype
RRYY	1	Rond jaune	9
RRYy	2		
RrYY	2		
RrYy	4		
RRyy	1	Rond vert	3
Rryy	2		
rrYY	1	Ridé jaune	3
rrYy	2		
rryy	1	Ridé vert	1

Figure 3.14: Génotypes et phénotypes des plantes F_2 d'un dihybride F_1 .

homozygote. Le même procédé peut être utilisé pour déterminer le génotype d'une plante pour ce qui concerne deux caractères. Le génotype de la constitution génétique identifiée doit, évidemment être récessif homozygote pour les deux caractères ($rryy$).

Si, par exemple, on a besoin de connaître le génotype d'une plante à graines rondes et jaunes, quatre génotypes sont possibles :

$RRYY$, $RrYY$, $RRYy$ et $RrYy$.

Les quatre croisements d'épreuve sont brièvement présentés ci-dessous :

- Parent $RRYY$: un seul type de gamète, RY :

Gamètes plantes de contrôle		RY
		ry

Tous les descendants sont ronds et jaunes.

- Parent RrYY : deux types de gamètes, RY et rY :

Plantes de contrôle		RY	rY
	ry	RrYy	rrYy

½ des descendants sont ronds et jaunes et
½ sont ridés et jaunes.

- Parent RRYy : deux types de gamètes, RY et Ry :

Plantes de contrôle		RY	Ry
	ry	RrYy	Rryy

½ des descendants sont ronds et jaunes et
½ sont ronds et verts.

- Parent RrYy : quatre espèces de gamètes, RY, Ry, rY et ry :

Plantes de contrôle		RY	Ry	rY	ry
	ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

¼ des descendants sont ronds et jaunes;
¼ des descendants sont ronds et verts;
¼ des descendants sont ridés et jaunes;
¼ des descendants sont ridés et verts.

Ainsi peut-on déterminer le génotype d'un parent en observant les phénotypes de la descendance d'un croisement d'épreuve.

Linkage

Liaisons géniques

Il n'y a pas toujours de ségrégation indépendante et les rapports discutés ci-dessus peuvent ne pas être toujours exacts.

Les gènes portés par le même chromosome peuvent se recombiner de façon indépendante, comme des gènes sur des chromosomes séparés. Les gènes qui, portés par le même chromosome, ne se comportent pas de façon indépendante, sont dits *liés*. La Figure 3.15 montre ce qui se passe chez le parent, et les générations F₁ et F₂, lorsque deux paires de

gènes sont totalement liés et ne se recombinent donc pas indépendamment, mais se comportent comme un gène unique. Dans ce cas-là, il n'y a que trois (au lieu de neuf) génotypes différents dans la F₂ : AABB, AaBb, aabb et la proportion est de 1:2:1.

Cependant, lorsque les gènes ne sont pas totalement liés, cette proportion de génotypes n'apparaît pas en F₂; cette situation est due à un phénomène appelé le *crossing-over*.

Considérons, à titre d'exemple, le croisement entre un parent dihybride (AaBb) et un parent récessif homozygote (aabb). Si les gènes ne sont pas liés, on peut prévoir le rapport génotypique 1:1:1:1 pour les quatre génotypes AaBb, Aabb, aaBb et aabb. Si les gènes sont liés, cependant, on peut avoir 180 AaBb, 27 Aabb, 23 aaBb et 170 aabb. Les génotypes les plus fréquents (AaBb et aabb) résultent de la formation normale des gamètes (Fig. 3.16) mais les gamètes donnant naissance aux descendants avec les génotypes Aabb et aaBb (connus sous le nom de génotypes *recombinants* à cause de la recombinaison des gènes) sont produits par *crossing-over*. Les gènes liés peuvent se recombiner à la fois dans une situation de *couplage* lorsque la disposition des allèles est les deux dominants dans un chromosome et les deux récessifs dans l'autre (AB/ab) et dans une situation de *répulsion*, lorsque la disposition est un dominant et un récessif dans chaque homologue (Ab/aB).

Crossing-over

Vers la fin de la prophase, lorsque chaque chromosome est formé des deux chromatides, on peut voir s'unir une chromatide d'un chromosome avec la chromatide du chromosome homologue. C'est là que s'est produit le *crossing-over*, et le point d'échange est un *chiasma*. La Figure 3.17 présente un *crossing-over* en une situation de couplage.

Dans certains cas, plusieurs chiasmata peuvent se former et plus d'un segment peut être échangé entre chromatides.

Carte chromosomique

Le pourcentage de *crossing-over* (appelé unité de *crossing-over* ou *unité graphique*) permet de mesurer la distance relative entre les gènes situés sur un chromosome; elle est mesurée en pourcentage de génotypes recombinants dans la descendance d'un croisement d'épreuve.

La Figure 3.16 présente 50 génotypes recombi-

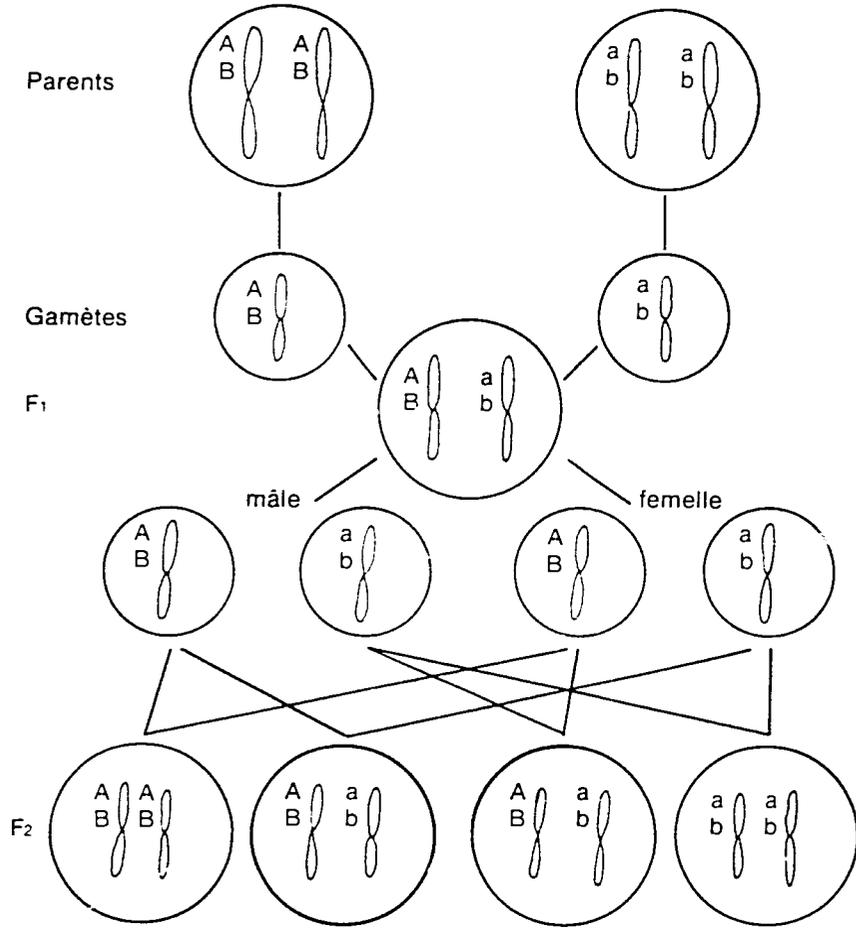


Figure 3.15: Linkage.

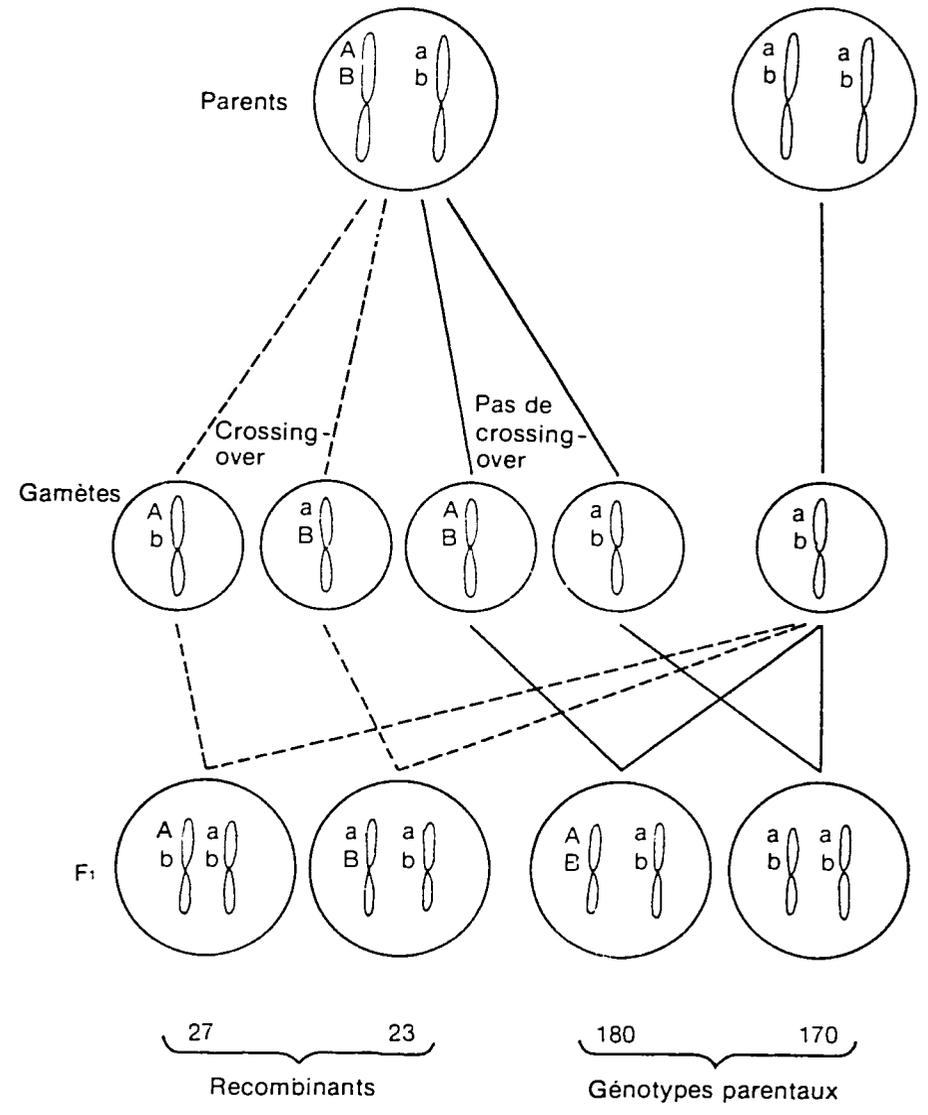


Figure 3.16: Croisement d'épreuve des dihybrides avec linkage des gènes.

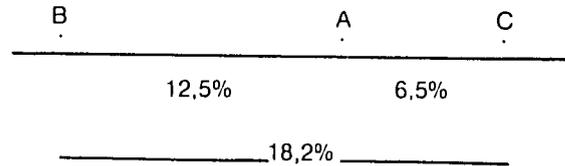
nants (27 Aabb + 23 aaBb) pour un total de 400 plantes (50 + 180 AaBb + 170 aabb). Ainsi le pourcentage de crossing-over est de :

$$50/400 \times 100 = 12,5\%$$

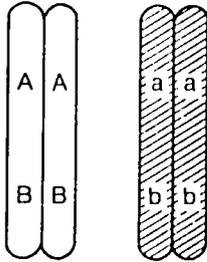
Il est possible, s'il y a linkage entre un autre gène C et les gènes A et B, d'établir l'ordre des gènes situés sur le chromosome. Si, par exemple, le pourcentage de crossing-over entre A et C est de 6,5% et entre B et C de 19%, l'ordre est BAC. Une faible fréquence de double crossing-over entre B et C donnera le génotype parental, ainsi le nombre d'un-

ités de crossing over entre eux sera-t-il inférieur à la somme de ceux entre B et A et A et C.

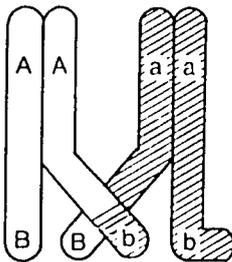
Il faut noter que deux gènes distants de 50 unités de crossing-over ou plus se comportent comme des gènes non liés : c'est-à-dire que la distribution de fréquence dans la descendance sera de AB, Ab, aB et ab en fréquence égale avec ou sans linkage de 50 unités ou plus de crossing-over entre A et B.



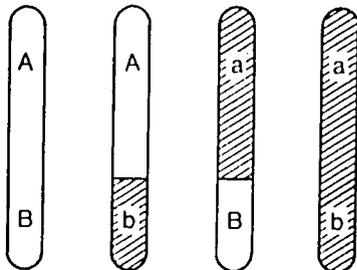
1. Les chromosomes homologues, composés chacun de deux chromatides, s'apparient côte à côte pour former un bivalent.



2. Les chromosomes se séparent et l'on peut voir les points de contact, les chiasmats (un seul ici est visible). Les segments de chromatides s'échangent à l'endroit des chiasmats.



3. A la fin de la méiose 2 les quatre chromatides sont réparties, une dans chacune des cellules haploïdes.



Il est possible, en étudiant le linkage et le pourcentage de crossing-over entre des gènes liés, de déterminer les gènes des groupes, ainsi que d'établir la carte de l'ordre des gènes au sein des groupes. Il peut même être possible de situer des groupes de gènes sur des chromosomes spécifiques.

Gènes pléiotropiques

Certains gènes peuvent influencer l'expression de plus d'un caractère; ainsi chez le sorgho, le gène hl provoque-t-il à la fois une augmentation de la teneur en lysine des protéines de réserve dans la graine et un endosperme ridé. On appelle ces gènes *gènes pléiotropiques*.

Il est souvent difficile de dire si des gènes sont réellement pléiotropiques ou s'ils sont étroitement liés. Un grand nombre de croisements peut s'avérer nécessaire avant de pouvoir trouver un génotype recombinant, lorsque les gènes sont situés à proximité les uns des autres sur le même chromosome. La présence d'un seul génotype recombinant suffit, cependant, pour établir que l'on se trouve en présence de deux gènes étroitement liés et non d'un gène pléiotropique.

Hérédité pour deux facteurs

Le modèle de base pour l'hérédité d'un caractère gouverné par deux gènes indépendants est le même que celui présenté dans les Figures 3.12, 3.13 et 3.14. Considérons le cas d'une couleur des fleurs sous la dépendance de gènes situés à deux loci A et B. Le récessif homozygote (aabb) donne des fleurs blanches, aaBb produisent des fleurs rouges, mais

Figure 3.17: Crossing-over.

l'expression du gène dominant A dépend du génotype situé au locus B, de telle sorte qu'avec le gène dominant B les fleurs sont de couleur pourpre et de couleur rose avec le gène récessif bb. Ce que l'on peut résumer comme suit :

Génotype	Phénotype
aabb	Blanc
A-bb	Rose
aaB-	Rouge
A-B-	Pourpre

Le "-" du génotype indique que l'allèle peut être soit dominant soit récessif, et qu'il n'aura aucun effet sur le phénotype; ainsi le génotype écrit A-B- peut être AABB, AABb ou AaBb, et dans tous les cas le phénotype sera pourpre.

Dans un croisement entre deux parents homozygotes AABB (pourpre) x aabb (blanc), la génération F₁ sera hétérozygote AaBb (pourpre).

On peut déterminer les génotypes des F₂ en utilisant comme suit la méthode du damier :

		Gamètes femelles			
		AB	Ab	aB	ab
Gamètes mâles	AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
	Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
	aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
	ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Géno- types	Nombre	Phéno- types	Proportion de phénotypes
AABB	1	Pourpre	9
AABb	2		
AaBB	2		
AaBb	4		
AAbb	1	Rose	3
Aabb	2		
aaBB	1	Rouge	3
aaBb	2		
aabb	1	Blanc	1

Ainsi, on trouve dans la F₂ la proportion de phénotypes suivante : 9 pourpres : 3 roses : 3 rouges : 1 blanc. Ce rapport est typique de l'hérédité de caractères gouvernés par des gènes occupant deux loci lorsqu'il n'y a pas d'interaction entre les gènes

concernés. Cependant, cette interaction existe très souvent donnant des proportions différentes. On peut établir un parallèle entre ces proportions et la proportion 9:3:3:1; par exemple, une proportion de phénotypes de 9:7 en F₂ peut être mis en parallèle avec une proportion de 9:(3+3+1). Dans ce cas-là, les génotypes avec un allèle dominant aux deux loci forment une catégorie de phénotypes (9) et les génotypes ne possédant qu'un seul, ou aucun allèle dominant, donnent tous le même phénotype (7).

Géno- types	Nombre	Phéno- types	Proportion de phénotypes
A-B-	9	Coloré	9
A-bb	3		
aaB-	3		
aabb	1	Blanc	7

De nombreux types d'interaction génique sont possibles, certains sont brièvement décrits ci-dessous :

Gènes complémentaires : Ce type d'interaction donne une proportion de phénotypes 9:7, comme décrit ci-dessus. La présence de deux allèles dominants (A et B) est nécessaire à l'expression d'un caractère (par exemple : rouge) et l'absence d'un allèle dominant situé à l'un ou aux deux loci (A-bb, aaB- ou aabb) entraîne l'expression de l'autre caractère (blanc).

Gènes modificateurs : Ces gènes modifient l'action des gènes occupant un autre locus et n'ont pas d'action par eux-mêmes. Par exemple, si le génotype A- donne des fleurs roses et aa des fleurs blanches, la présence de l'allèle dominant B à un autre locus peut provoquer des fleurs rouges si A est également présent, mais des fleurs blanches en l'absence de A. Dans ce cas, les génotypes A-B- donnent des fleurs rouges, A-bb des fleurs roses et aaB- et aabb tous deux des fleurs blanches. La proportion de phénotypes est de 9 rouges:3 roses:4 blancs.

Gènes inhibiteurs : Un seul gène peut inhiber l'expression d'un autre gène, par exemple, si A- donne une fleur de couleur rouge et aa une fleur de couleur blanche, la présence d'un allèle dominant B à un autre locus peut supprimer l'action de A. Ainsi A-B-, aaB- et aabb donnent des fleurs blanches et seul A-bb donne des fleurs rouges. Dans ce cas-là, la proportion de phénotypes est de 13 blancs:3 rouges.

Gènes additifs : La présence d'un allèle dominant situé à l'un ou l'autre locus donnera le même phénotype, et l'effet sera accru s'il y a un allèle dominant aux deux loci. Ainsi, par exemple, la plante est de petite taille s'il n'y a pas d'allèles dominants (aabb), de taille intermédiaire s'il y a un allèle dominant à l'un ou l'autre locus (A-bb ou aaB-) et de haute taille s'il y a un allèle dominant aux deux loci (A-B-). Dans cet exemple, la proportion de phénotypes dans la F₂ sera : 9 plantes de haute taille:6 plantes de taille intermédiaire:1 plante de petite taille.

Gènes doublés : Si un allèle dominant est présent à l'un ou l'autre locus ou aux deux loci, le phénotype est le même. Ainsi, A-B-, A-bb et aaB- donnent tous le même phénotype, et seul le récessif homozygote (aabb) est différent. On observe avec ce type d'action génique, la proportion de phénotypes 15:1.

Gènes "épistatiques" : La présence d'un allèle dominant situé à un locus peut masquer l'effet d'un allèle dominant situé à l'autre locus. Supposons que A- donne des fleurs rouges et aa des fleurs blanches, B- donne des fleurs jaunes et bb des fleurs blanches. Lorsqu'il y a un allèle dominant situé aux deux loci, l'allèle dominant A peut masquer l'effet de B. Ainsi, les génotypes A-B- et A-bb produisent tous deux des fleurs rouges, aaB- des fleurs jaunes et aabb des fleurs blanches. Dans ce cas, le rapport phénotypique en F₂ est de 12 rouges:3 jaunes:1 blanc.

À l'origine le terme *épistasie* était utilisé pour désigner les interactions géniques dans lesquelles les gènes situés à un locus (par exemple, A) présentent une dominance sur les gènes situés sur un autre locus (B). Selon cette définition, les gènes

modificateurs dominants, les gènes inhibiteurs, et les gènes épistatiques sont tous des formes de l'épistasie.

Le terme désigne, maintenant, tous les types d'interaction de gènes non alléliques; c'est-à-dire tous les types d'interaction se produisant entre des gènes situés à différents loci.

Mutation

Les *mutations* sont des modifications soudaines de l'information héréditaire dans une cellule vivante. Celles-ci peuvent être classées en deux types principaux : *mutations chromosomiques* et *mutations géniques*.

Mutations chromosomiques

Les modifications apportées dans la structure d'un chromosome sont appelées mutations chromosomiques. Elles ont, généralement, un effet nuisible et entraînent souvent une fertilité très réduite ou même la mort de la plante. De nombreux types de mutations chromosomiques peuvent se produire (Fig. 3.18).

- Duplication : Lorsqu'un petit segment chromosomique s'ajoute au chromosome normal.
- Déficience : Lorsqu'il manque un segment chromosomique.
- Interchange : Lorsqu'un segment d'un chromosome est interchangé avec un segment d'un chromosome non homologue.
- Translocation : Lorsqu'un segment d'un chromosome est transféré sur un autre chromosome.

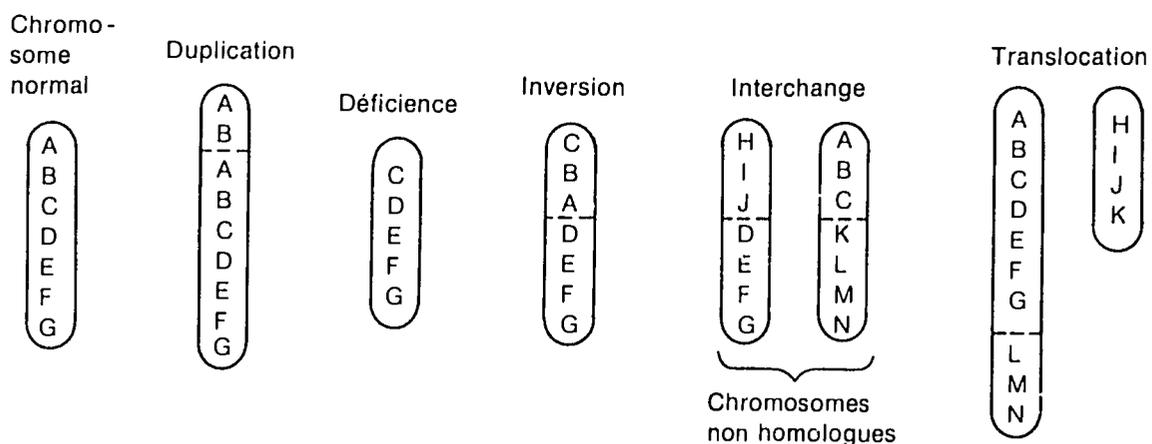


Figure 3.18: Mutations chromosomiques.

- Inversion : Lorsqu'un segment chromosomique se détache et se réinsère, mais dans une position inverse.

Mutations géniques

Les modifications des gènes individuels, appelées mutations géniques, peuvent être classées en mutations :

1. dominante ou récessive;
2. bénéfique ou nuisible;
3. dans les cellules somatiques (cellules de plantes normales diploïdes) ou pendant la production des gamètes.

Si la mutation se produit dans le tissu somatique pendant la mitose, les cellules issues des cellules mutantes transmettront la mutation. Le tissu végétal contiendra un mélange de cellules mutées et non mutées. On appelle *mosaïque* ce tissu.

Ces mutations ne sont pas transmises dans la descendance (à moins que par la suite ne se produise un développement floral à partir du tissu somatique muté), contrairement aux mutations qui ont lieu au cours de la formation des gamètes.

Les mutations sont rares dans la nature, mais il existe, en général, un taux constant auquel des allèles particuliers subissent des mutations; comme par exemple dans le maïs, l'allèle R, un facteur de la couleur, qui subit une mutation au taux d'environ 500 par million de gamètes; I, un allèle inhibant la couleur, qui a un taux de mutation de 100 par million de gamètes et l'allèle Sh (pour le grain ridé) au taux de seulement 1 par million de gamètes.

Les mutations donnant des allèles récessifs sont les plus courantes et la mutation d'un allèle récessif en une forme dominante est comparativement rare.

Cependant, les mutations sont généralement réversibles, et s'il y a mutation de l'allèle A en a, il peut y avoir mutation en retour de a en A. Cependant le taux de mutation peut être différent dans les deux sens.

Parce qu'elles sont récessives pour la plupart, souvent les mutations n'apparaissent pas dans la première génération (appelée M₁) mais seulement si elles sont à l'état homozygote dans la M₂ ou la génération suivante (Fig. 3.19).

La mutation est la base principale de l'évolution; c'est ainsi que les nouveaux gènes se forment. En général, la plupart des mutations sont nuisibles et disparaîtront dans une population. Quelques mutations sont bénéfiques, cependant, et alors les chances de survie de la plante mutante seront meilleures en conditions de sélection naturelle. Plus tard, la forme mutante d'un gène peut être observée dans de nombreux membres d'une espèce. Une nouvelle espèce peut se former après un nombre suffisant de mutations différentes.

La mutation peut se révéler utile pour le sélectionneur comme source de nouveaux gènes. Bien que la majorité des mutations géniques soit nuisibles, les quelques mutations bénéfiques possibles peuvent être utilisées pour la mise au point de nouveaux génotypes améliorés. Toutefois, les mutations chromosomiques sont rarement utiles et presque toujours nuisibles.

Mutation induite

Afin d'accroître le taux de mutation, les sélectionneurs peuvent recourir à plusieurs méthodes. Les rayons x et les rayons gamma peuvent accroître ce taux mais ont tendance à provoquer un pourcentage élevé de mutations chromosomiques nuisibles. De faibles doses peuvent entraîner un nombre suffi-

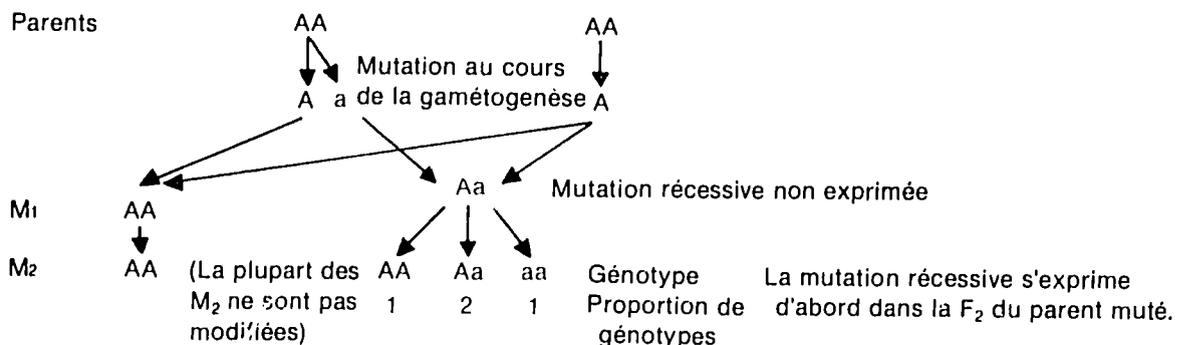


Figure 3.19: Générations suivant une mutation.

sant de mutations géniques pour rendre cette méthode intéressante. On a quelquefois recours aux rayons ultra-violets moins susceptibles de provoquer des mutations chromosomiques. Certains produits chimiques sont connus pour accroître le taux de mutation, tels le méthane sulfonate d'éthyle (EMS). Ces produits provoquent un taux de mutation génique élevé avec relativement peu de mutations chromosomiques. (Tous les mutagènes présentent des risques pour l'homme et doivent être traités en conséquences.)

Ploidie

Chez le sorgho, les plantes peuvent posséder un nombre de chromosomes inférieur ou supérieur au nombre diploïde ($2n$). Les plantes *monoploïdes* sont celles qui possèdent la moitié du nombre de chromosomes diploïdes, et les *polyploïdes* celles qui possèdent un nombre supérieur à celui-ci. Dans certains cas, un ou plusieurs chromosomes peuvent être en moins ou trois ou plusieurs d'un chromosome particulier peuvent être en plus; ces plantes sont dites *aneuploïdes*. Certaines espèces possèdent des multiples du nombre chromosomique du *génome* (haploïde, n), ce sont les espèces *euploïdes*.

Sorghum halepense, une plante adventice courante, quelquefois utilisée comme graminée fourragère et *Sorghum alnum*, une autre graminée fourragère, sont au départ *autotétraploïdes*, avec $4n$ ou 40 chromosomes. On peut doubler le nombre chromosomique grâce à la colchicine et on a essayé d'obtenir par sélection des sorghos-grains tétraploïdes.

Aneuploïdes

Les aneuploïdes peuvent présenter plusieurs formes : ils peuvent être *monosomiques* avec l'absence d'un chromosome ($2n-1$) et *trisomiques* avec un chromosome supplémentaire ($2n+1$). Dans de nombreux cas l'aneuploïdie provoque une réduction de la vigueur, et ces plantes ont généralement un aspect très différent des plantes diploïdes normales. L'aneuploïdie peut même entraîner la mort de la plante, en particulier chez les espèces diploïdes.

Les aneuploïdes constituent un outil intéressant pour l'étude de la génétique de divers caractères. Le recours à l'aneuploïdie permet souvent de localiser les gènes sur des chromosomes particuliers.

Euploïdes

On estime qu'un tiers de toutes les espèces végétales domestiquées (et plus de 70% des graminées fourragères) sont euploïdes, avec des multiples du nombre de base ou génomique de chromosomes.

Il existe deux types principaux d'euploïdes, les autopolyploïdes et les allopolyploïdes, suivant l'origine des chromosomes (Fig. 3.20).

Les *autopolyploïdes* apparaissent lorsque le même génome—la garniture chromosomique d'une

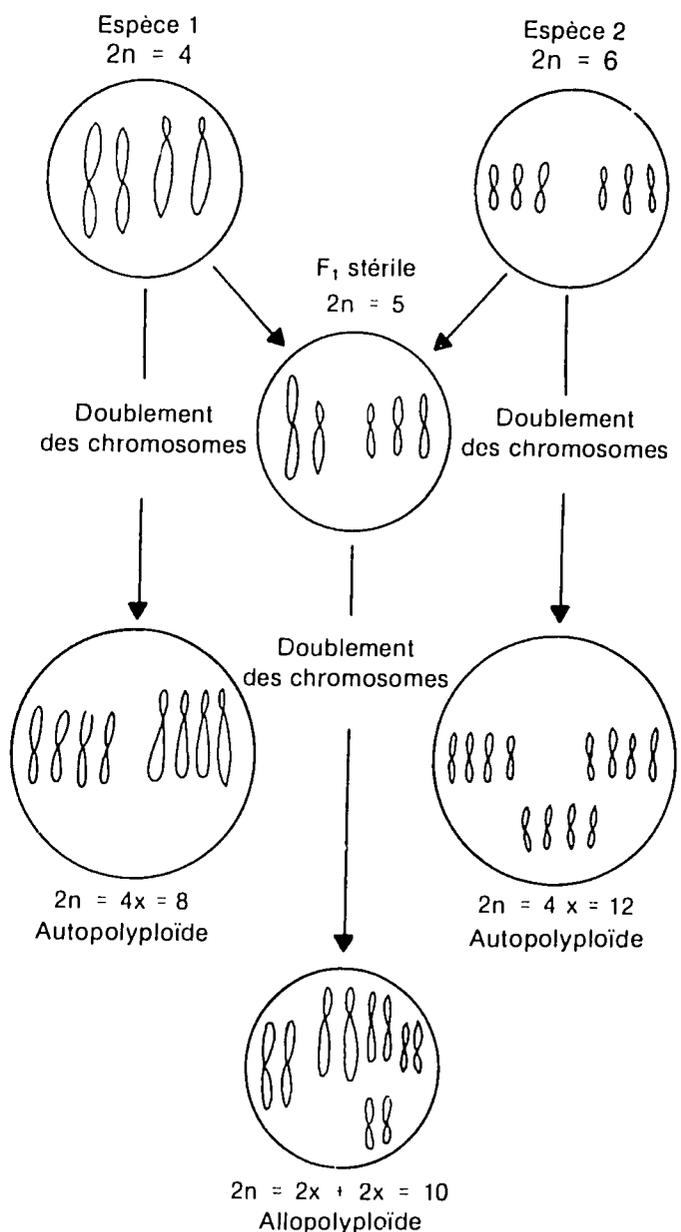


Figure 3.20: Origine des autopolyploïdes et allopolyploïdes.

espèce donnée—est dupliqué. Ainsi si le nombre haploïde (n) d'une espèce donnée est de 6 chromosomes, la plante diploïde normale possédera deux séries de ces six chromosomes ou $2n = 12$. La plante autotriploïde possédera trois séries, $3n = 18$; l'autotétraploïde quatre séries, $4n = 36$, etc.

Chez les autopolyploïdes, les cellules sont généralement plus grandes et souvent les fleurs, les fruits et les feuilles sont également de taille plus importante que chez les plantes diploïdes, mais leur fertilité est normalement réduite. Cette diminution de la fertilité est due principalement au comportement des chromosomes à la méiose. Chez les diploïdes, chaque chromosome a son homologue et ils forment ensemble une paire de chromosomes homologues. Les tétraploïdes ont quatre chromosomes homologues. Au lieu de la formation bivalente normale à la méiose, ces quatre chromosomes peuvent former un *quadrivalent* (c'est-à-dire que les quatre chromosomes peuvent s'unir) ou un trivalent plus un univalent (trois chromosomes s'unissent et un demeure seul). Lorsque les chromosomes se séparent et migrent vers les deux extrémités de la cellule à l'anaphase 1, les quatre chromosomes peuvent tous se diriger vers une extrémité ou trois vers une extrémité et un vers l'autre. Si l'un ou l'autre de ces cas se produit, le gamète est susceptible d'être non fonctionnel, c'est-à-dire qu'il est incapable de fusionner et de donner normalement des descendants.

Chez de nombreuses espèces cultivées, cette diminution de la fertilité peut ne pas poser de problème si leur reproduction par voie asexuée est possible; par exemple, grâce à la formation de tubercules (pommes de terre) ou par greffage (pommes et poires).

Les *allopolyploïdes* sont le résultat d'une hybridation entre deux espèces séparées, généralement suivie d'un doublement du nombre chromosomique. Lorsque deux espèces sont croisées, la génération F_1 est généralement stérile par suite de l'absence d'appariement entre les chromosomes des différents génomes. Les génomes peuvent être semblables et un certain appariement se produire si les espèces sont très voisines, mais en général les gamètes fertiles produits, s'il y en a, sont très peu nombreux (Fig.3.20). En cas de doublement du nombre chromosomique, cependant, il y aura appariement normal entre les chromosomes homologues. On observe deux séries de chaque génome chez les allotétraploïdes dont la fertilité est souvent très élevée. De nombreuses espèces cultivées importantes sont allopolyploïdes, dont le blé tendre (une espèce hexaploïde).

Les euploïdes trouvent leur origine dans deux processus :

1. Au cours de la mitose, dans les cellules normales diploïdes (*cellules somatiques*), les deux séries de chromatides peuvent s'unir en un seul noyau, entraînant un doublement des chromosomes. Les nouvelles cellules qui peuvent se former à partir de cette cellule auront également $4n$ chromosomes. En cas de présence de ces cellules dans les fleurs en tant que *cellules mères des grains de pollen* et *cellules mères du sac embryonnaire*, les gamètes auront $2n$ chromosomes; après fécondation, ils donneront des plantes autotétraploïdes à la génération suivante.
2. Le doublement des chromosomes peut avoir lieu à la méiose. Les chromosomes peuvent ne pas se séparer au cours de l'anaphase et les deux peuvent migrer vers un pôle de la cellule, donnant un gamète à $2n$. Si un gamète à $2n$ chromosomes s'unit à un gamète avec n chromosomes, on aura une plante autotriploïde ($3n$). Les polyploïdes avec un nombre impair de génomes sont généralement totalement stériles, l'appariement normal des chromosomes homologues étant impossible.

Hérédité chez les polyploïdes

L'hérédité des caractères est différente sur plusieurs points chez les espèces polyploïdes et diploïdes. En général, les allotétraploïdes se comportent comme des diploïdes, en particulier si les deux génomes sont très différents. Chez les autotétraploïdes, cependant, on peut observer jusqu'à quatre allèles occupant un locus particulier, au lieu de deux chez les diploïdes. S'il n'y a pas d'interaction entre les allèles, de nombreux phénotypes nouveaux peuvent apparaître, ce qui n'est pas possible chez les diploïdes.

Considérons les séries d'allèles A_1 , A_2 , A_3 et A_4 . On peut constater la présence de deux de ces quatre allèles dans une plante diploïde, mais les quatre peuvent être présents chez un tétraploïde.

Un autotétraploïde possédant le génotype A_1, A_2, A_3 et A_4 aura six types possibles de gamètes ($A_1A_2, A_1A_3, A_1A_4, A_2A_3, A_2A_4, A_3A_4$) et tous les six se trouveront en proportions essentiellement égales.

S'il n'y a que deux allèles, il peut y avoir cinq génotypes dans un tétraploïde ($A_1A_1A_1A_1, A_1A_1A_1A_2, A_1A_1A_2A_2, A_1A_2A_2A_2$, et $A_2A_2A_2A_2$) comparés aux trois génotypes (A_1A_1, A_1A_2 et A_2A_2) d'un diploïde.

Chez les plantes diploïdes, le nombre de génotypes possibles est donné par 3^n où (n) est le nombre de loci, en admettant qu'il n'y ait que deux allèles possibles à chaque locus. Ainsi, chez les diploïdes possédant 5 loci, il y a $3^5 = 243$ génotypes. Chez les tétraploïdes, le nombre de génotypes possibles (en admettant là encore qu'il n'y ait que deux allèles) est donné par 5^n ; ainsi, chez les tétraploïdes il sera de 5^5 génotypes = 3125, s'il y a 5 loci.

Hérédité quantitative

On peut classer en quelques catégories distinctes les caractères étudiés jusqu'ici : vert ou jaune, haut ou court; rouge, rose ou blanc, etc. Cette classification est, cependant, impossible pour de nombreux caractères car les catégories ne sont pas toujours si facilement séparables. La variation observée est *continue*. Les caractères présentant une variation continue sont appelés *caractères quantitatifs* et la plupart des caractères économiquement importants d'une plante (hauteur, maturité, rendement, etc.) sont quantitatifs.

L'étude de l'hérédité des caractères quantitatifs dépend des mesures des plantes, des rangs ou des parcelles. Leurs variations peuvent être représentées par des graphiques et décrites mathématiquement grâce à la *moyenne* (valeur moyenne d'une population) et l'*écart-type* ou la variance permettant de mesurer la dispersion des valeurs de part et d'autre de la moyenne. La variation continue d'un caractère est le résultat :

1. du contrôle par les gènes situés à plusieurs loci, ou
2. de l'influence considérable du milieu. Tant le génotype que le milieu jouent un rôle important dans l'expression de la plupart des caractères quantitatifs.

Variation due au milieu

Pratiquement tous les caractères quantitatifs sont considérablement influencés par le milieu. En fonction des formules discutées au début de ce chapitre, V_E est normalement élevé. Même les caractères gouvernés par des allèles occupant le même locus peuvent être de nature quantitative si l'influence du milieu est suffisamment importante. L'effet du milieu sur un caractère régi par un couple de gènes uniques (longueur de l'hypocotyle) est présenté dans la Figure 3.21. Les graphiques des générations

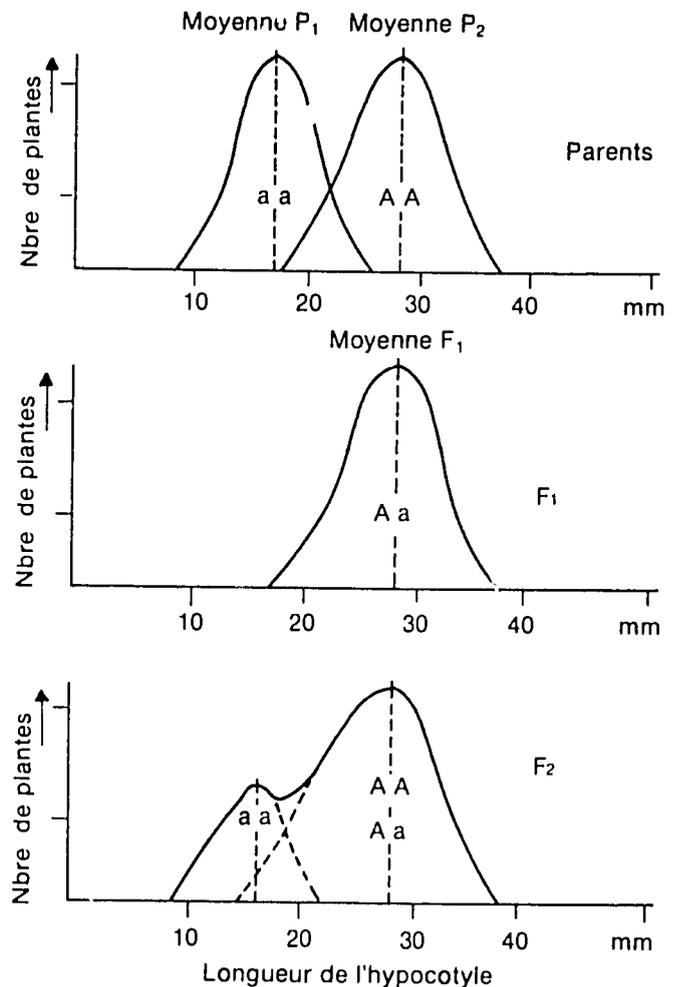


Figure 3.21: Graphiques montrant un croisement comportant un locus unique avec une forte influence du milieu.

F_1 et F_2 montrent que ce caractère est sous la dépendance d'un gène unique, un hypocotyle long (AA) étant dominant sur un hypocotyle court (aa); mais la forte influence du milieu a provoqué le chevauchement des catégories séparées, rendant impossible une analyse basée sur le nombre de plantes dans chaque catégorie.

La hauteur d'une plante peut être un caractère quantitatif; cependant, lors de l'expérimentation de Mendel sur les plantes de grande taille x de petite taille, la hauteur moyenne des plantes de grande taille a été d'environ 200 cm alors que celle des plantes de petite taille n'a été que de 30 cm environ. Ainsi, même avec une variation de milieu très importante, les plantes ont pu être facilement classées en catégories séparées. En ce qui concerne le sorgho, on sait que quatre loci sont impliqués dans le contrôle de la hauteur de la plante.

Variation due au génotype

Tous les effets quantitatifs ne peuvent pas être expliqués par les influences du milieu, et on sait maintenant que de nombreux caractères quantitatifs sont gouvernés par un nombre important de gènes situés à différents loci. Dans ces conditions, la ségrégation dans la population F_2 ne donne pas de catégories discontinues et on observe généralement une distribution continue entre les valeurs parentales sans la courbe bimodale (à deux pics) présentée dans la Figure 3.21. Cette forme d'hérédité (Fig. 3.22), est appelée *hérédité polygénique* (poly = nombreux).

La moyenne de la génération F_1 est généralement intermédiaire entre les moyennes des parents, et les plantes en F_2 couvrent généralement tout l'éventail des valeurs parentales.

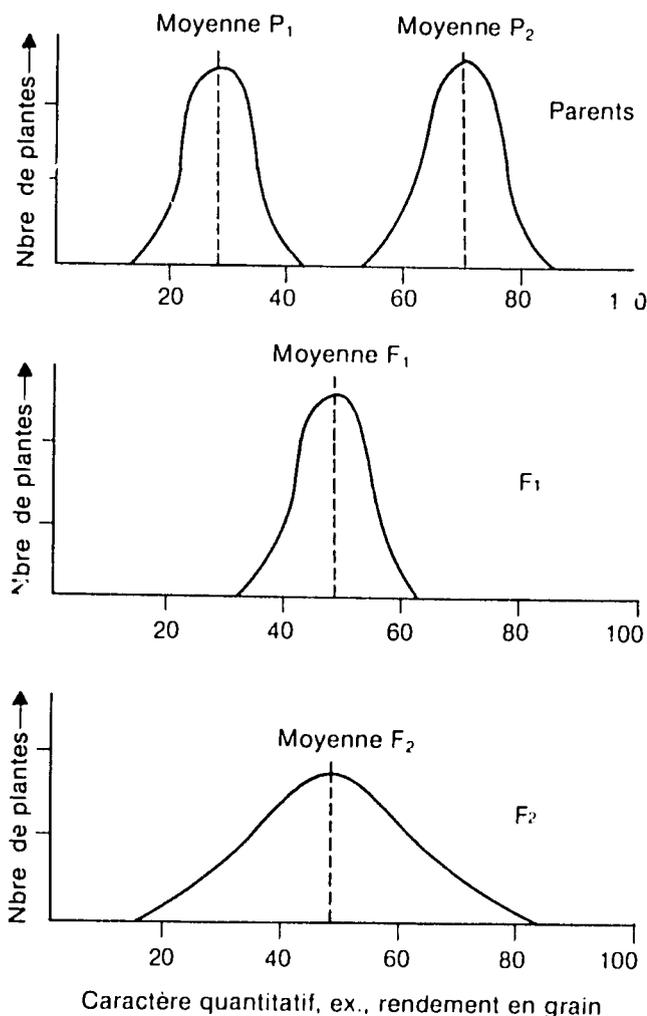


Figure 3.22: Hérédité d'un caractère gouverné par de nombreux gènes.

Il semble que l'on puisse expliquer l'hérédité polygénique par l'intervention de nombreux gènes dans la détermination de ces caractères, leur fréquente absence de dominance et leur action additive. Cependant, les gènes sont transmis à la descendance de la même manière que ceux étudiés précédemment.

Les données de Nilsson-Ehle, un généticien Suédois, concordent avec cette explication, bien que dans le cas étudié les gènes à deux loci seulement soient impliqués. Celui-ci a croisé deux variétés de blé, l'une à grains rouges sombres et l'autre à grains blancs. Il a découvert que la génération F_1 était de couleur rouge moyen. Dans la F_2 , $1/16$ des plantes avait des grains rouges sombres, $1/16$ des grains blancs et le reste des grains était de couleur intermédiaire. En poursuivant son analyse sur les grains de couleur intermédiaire, il a trouvé que $6/16$ étaient rouges moyens comme la F_1 , $4/16$ étaient plus sombres que la F_1 mais plus clairs que les géniteurs rouges foncés, et $4/16$ étaient plus clairs que la F_1 mais n'étaient pas blancs. Cette découverte peut s'expliquer par l'hypothèse selon laquelle: la couleur rouge foncée est due au génotype $R_1R_1R_2R_2$; la couleur blanche est due au génotype $r_1r_1r_2r_2$; les gènes manquent de dominance, et leur action est additive.

Dans la F_1 , le génotype est $R_1r_1R_2r_2$; et F_1 est intermédiaire entre les deux parents parce qu'elle possède deux gènes de couleur (R_1 et R_2). Dans la F_2 , d'autres teintes de rouge sont produites par les génotypes possédant un ou trois gènes de couleur. C'est ce que montre la Figure 3.23.

Ce type d'hérédité donne une proportion 1:4:6:4:1 et est dû aux gènes occupant uniquement deux loci (R_1 et R_2). Le caractère de la couleur des grains n'est pour ainsi dire pas affecté par le milieu et la F_2 peut être divisée en catégories séparées. Si le milieu avait eu un quelconque effet, les catégories se seraient chevauchées et on aurait pu observer une véritable variation continue (Fig. 3.24).

La plupart des caractères polygéniques sont régis par des gènes situés à plusieurs loci et le nombre de génotypes possibles est très important. Avec seulement deux loci concernés, on a neuf génotypes possibles (en admettant uniquement deux allèles possibles à chaque locus), avec trois loci on a 27 génotypes et avec quatre loci 81 génotypes possibles. Si n = le nombre de loci (chacun avec seulement deux allèles), le nombre de génotypes en F_2 est 3^n . Ainsi, il y a 3^{10} génotypes = 59 049 pour 10 loci concernés et plus de 1.5 millions de génotypes possibles dans la génération F_2 pour 13 loci concernés. De nombreux caractères importants tels le rende-

Parent	Rouge foncé $R_1 R_1 R_2 R_2$	x	Blanc $r_1 r_1 r_2 r_2$		
F ₁	Rouge moyen $R_1 r_1 R_2 r_2$				
F ₂	Génotype	Pro-portion géno-typique	Phéno-type	Nbre de gènes de la couleur	Pro-portion phéno-typique
	$R_1 R_1 R_2 R_2$	1	Rouge foncé	4	1
	$R_1 R_1 R_2 r_1$ $R_1 r_1 R_2 R_2$	2 2	Rouge	3	4
	$R_1 r_1 R_2 r_2$ $R_1 R_1 r_2 r_2$ $r_1 r_1 R_2 R_2$	4 1 1	Rouge moyen	2	6
	$R_1 r_1 r_2 r_2$ $r_1 r_1 R_2 r_2$	2 2	Rouge clair	1	4
	$r_1 r_1 r_2 r_2$	1	Blanc	0	1

Figure 3.23: Hérité de la couleur des graines de blé, d'après les découvertes de Nilsson-Ehle.

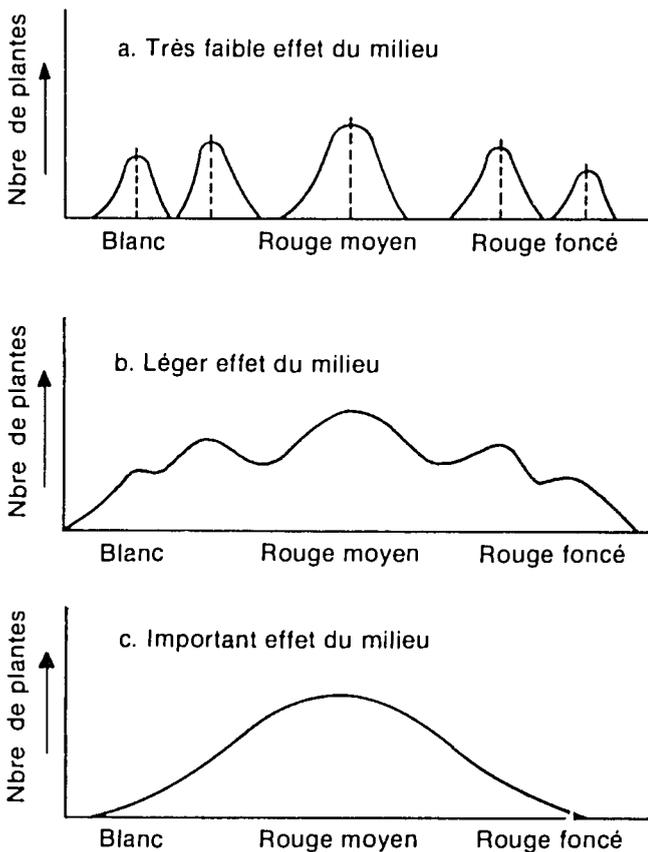


Figure 3.24: Effet du milieu sur un caractère poly-génique gouverné uniquement par deux gènes.

ment, peuvent être influencés par des gènes occupant des dizaines ou même peut-être des centaines de loci, et le nombre de génotypes est énorme.

Action additive, de dominance et épistatique des gènes

L'explication précédente de l'hérédité polygénique est basée sur l'hypothèse selon laquelle :

1. Il n'y a pas de dominance d'un allèle sur un autre à un locus donné;
2. Les effets de tous les gènes à tous les loci sont additifs, c'est-à-dire que lorsque le nombre d'allèles pour le caractère s'accroît, l'expression de ce caractère augmente proportionnellement.

Dans la pratique, en-dehors des effets additifs des gènes, la dominance et les interactions entre gènes de différents loci (épistasie) peuvent se révéler importantes pour l'hérédité des caractères quantitatifs.

L'effet des gènes présentant une dominance ou épistasie provoquera une distribution dissymétrique dans la population F₂, c'est-à-dire que celle-ci ne sera pas symétrique de chaque côté de la moyenne (Fig. 3.25).

Statistiquement, la dominance et l'épistasie peuvent être exprimées comme des composantes de la variance génétique $V_G = V_A + V_D + V_N$,

où V_A = la variance due aux effets additifs des gènes;

V_D = la variance due aux effets de dominance des gènes;

V_N = la variance due aux effets non alléliques (épistatiques) des gènes.

Puisque $V_P = V_G + V_E$ (où V_E = la variance du milieu), la variance phénotypique totale V_P peut se diviser en quatre composantes :

$$V_P = V_A + V_D + V_N + V_E.$$

En l'absence de dominance et d'épistasie, la variance génétique $V_G = V_A$.

La variance génétique additive (V_A) est la principale cause de la ressemblance entre parents et descendants; celle-ci est souvent plus importante que les variances combinées de la dominance et de l'épistasie.

Des essais spéciaux et exigeant en général l'analyse des parents, des générations F₁, F₂ et des rétro-croisements, s'avèrent indispensables pour le

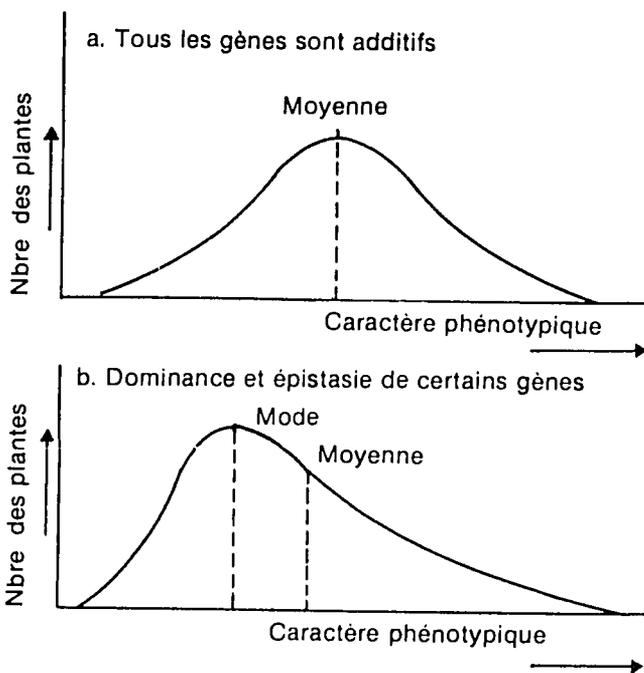


Figure 3.25: Effet de la dominance sur des caractères quantitatifs.

calcul de ces composantes. (On utilise généralement comme technique de détermination des composantes de la variance l'analyse des croisements diallèles, méthode que nous n'étudierons pas ici.)

Génétique des populations : fréquence et équilibre géniques

Il existe deux concepts fondamentaux dont tout sélectionneur doit avoir une compréhension claire : la ségrégation au sens mendélien et les changements de fréquences géniques dans les populations.

Jusqu'ici, la génétique a été étudiée en relation avec les proportions de ségrégation dans les descendants obtenus par croisement entre des plantes spécifiques. Or, le sélectionneur s'occupe généralement des phénomènes génétiques au sein de groupes d'individus ou populations, ne présentant pas de proportions de ségrégation mendéliennes apparentes mais suivant, cependant, les lois de Mendel.

Une population, au sens génétique, est plus qu'un groupe d'individus, c'est un groupe en cours de

sélection. La génétique des populations s'intéresse à la fois à la composition génétique de la population et à la transmission du matériel génétique à la génération suivante. Dans chaque génération, la composition génétique de l'individu se sépare et réapparaît sous une nouvelle forme dans la génération suivante. Dans la population, les gènes présentent une continuité d'une génération à l'autre; continuité que l'on n'observe pas chez les génotypes dans lesquels ils apparaissent. La constitution génétique de la population est décrite par un ensemble de fréquences géniques (Falconer 1964).

Pour le sélectionneur, les différences de populations sont généralement plus une question de degré que de type. Mendel a pu travailler avec des proportions calculées dans la descendance, et le test X^2 ou KHI^2 a pu être utilisé pour vérifier si la proportion de génotypes observée était différente de la proportion à laquelle on pourrait s'attendre. Cependant, en génétique des populations on travaille sur des populations naturelles ou contrôlées pour pouvoir observer les phénomènes et tenter de les décrire à l'aide de modèles mathématiques. Ces modèles mathématiques ne sont pas à même de refléter toute la complexité de la population dans son milieu. Il est donc toujours nécessaire de recourir à des hypothèses, les conclusions étant toujours limitées dans leur interprétation par ces hypothèses. Cependant, les concepts (modèles) formulés se sont révélés intéressants pour la description des phénomènes observés dans les populations; d'une importance fondamentale, ceux-ci doivent être bien compris du sélectionneur lors de l'établissement de son programme d'amélioration des cultures (Crow et Kimura 1970).

Fréquence génique

Un des concepts de base de la génétique des populations est la *fréquence génique*. Pour mieux comprendre ce concept, considérons les points suivants :

- L'hypothèse de deux allèles (Aa) situés sur le même locus.
- L'hypothèse d'une population de N individus diploïdes.
- D égal au nombre ou à la proportion d'individus dominants (AA); H le nombre ou la proportion d'individus hétérozygotes (Aa); et Q le nombre ou la proportion d'individus récessifs (aa). D, H et Q sont alors des proportions ou des fréquences génotypiques de la population.

Notons que malgré la présence de trois types d'individus dans cette population, AA, Aa et aa, il n'y a que deux types d'allèles, A et a. Ces N individus ont 2N allèles (les individus de la population sont diploïdes 2n). Chaque individu AA a deux allèles A, et chaque individu Aa a un seul allèle A; ainsi le nombre total d'allèles A dans la population est-il de 2D + H et la proportion d'allèle A dans la population est de :

$$\frac{2D + H}{(2N)} \text{ ou } \frac{D + \frac{1}{2} H}{(N)}$$

Cette proportion est la fréquence de l'allèle A dans la population, elle est représentée par la lettre "p"; la fréquence de l'allèle "a" représentée par la lettre "q" est calculée de la même façon :

$$q = \frac{(H + 2Q)}{2N} = \frac{(\frac{1}{2}H + Q)}{N}$$

Notons que p + q = 1 de telle sorte que p = 1 - q. Les fréquences des génotypes AA, Aa et aa sont données en pourcentages plutôt qu'en nombre réel; par exemple, 2, 12, 26 deviendront 0,05, 0,30 et 0,65 et p sera égal à :

$$\frac{D + \frac{1}{2}H}{N} = \frac{2 + 6}{40} = 0,2$$

et q = 1 - p = 1 - 0,2 = 0,8.

L'exemple suivant devrait permettre de saisir le concept de la fréquence génique au sein d'une population (Falconer 1964). Le groupe sanguin MN a été étudié chez l'homme de façon approfondie : M et N sont deux allèles situés sur le même locus, et un croisement entre les individus MM et NN devrait donner une F₁ MN. Le croisement entre les deux parents MN devrait résulter en une ségrégation prévue dans la descendance F₂ de MN:2MN:NN conforme à la ségrégation mendélienne; cette proportion prévue se produisant quelque soit le lieu où vivent les parents. Or, un échantillonnage des populations au Groenland et en Islande donne les résultats suivants :

	Group sanguin (Fréquence, %)			Nombre d'individus
	MM	MN	NN	
Groenland	83,5	15,6	0,9	569
Islande	31,2	51,5	17,3	747

Il est évident que les fréquences génotypiques au sein de ces deux populations diffèrent, le groupe NN étant beaucoup plus courant en Islande qu'au Groenland. (Rappelons que dans les deux pays on pouvait attendre dans les descendants du croisement MN × MN une ségrégation en F₂ de MM:2MN:NN).

Ces populations diffèrent quant à leur fréquence tant génotypique que génique; cependant, les lois de Mendel s'appliquent également aux deux.

Il est possible d'obtenir la fréquence des allèles (p, q) pour un locus particulier à partir des fréquences génotypiques (D, H, Q). Considérons l'exemple suivant concernant les groupes sanguins MN :

$$M = D + \frac{1}{2}H = 0,835 + \frac{0,156}{2} = 0,835 + 0,078 = 0,913$$

$$N = Q + \frac{1}{2}H = 0,009 + \frac{0,156}{2} = 0,009 + 0,078 = 0,087$$

Les fréquences alléliques pour les groupes sanguins MN au Groenland et en Islande sont alors de :

	Allèle M	Allèle N
Groenland	0,913	0,087
Islande	0,57	0,43

Ces différences de fréquence sont importantes. Cet exemple montre ce que sont les fréquences génotypiques et géniques, et comment elles diffèrent des proportions de ségrégation de Mendel entre des parents sélectionnés. Une bonne connaissance de ces concepts est un préalable indispensable à toute compréhension des diverses démarches entreprises au cours d'un programme de sélection.

La loi de Hardy-Weinberg

Hardy et Weinberg ont découvert de leur côté en 1908 un principe fondamental de la génétique des populations. Ils ont constaté que dans une *population panmictique* (c'est-à-dire une population dans laquelle chaque gamète mâle a une chance égale de s'unir avec n'importe quel gamète femelle) et en l'absence de tout facteur perturbateur (pression de sélection, mutations, etc.), la fréquence relative d'un gène demeure stable génération après génération. La proportion de génotypes différents demeure également constante une fois l'équilibre atteint après une seule génération de panmixie.

Ce que l'on peut illustrer comme suit :

Prenons la fréquence de l'allèle A = p et la

fréquence de l'allèle $a = q$. Les gamètes contenant les allèles A et a seront produits avec la même fréquence relative : p et q respectivement. Si l'union de ces gamètes est entièrement aléatoire, on aura alors les combinaisons suivantes :

		Gamètes femelles	
		A p	a q
Gamètes mâles	A p	AA p^2	Aa pq
	a q	Aa pq	aa q^2

Ainsi, à la génération suivante, la fréquence du génotype AA sera p^2 , la fréquence du génotype Aa sera $2pq$ et la fréquence du génotype aa sera q^2 .

Pour prendre un exemple du mode de fonctionnement, considérons une population de 100 plantes comprenant 20 plantes avec le génotype AA , 20 avec Aa et 60 avec aa . Dans cette population, la fréquence de l'allèle A est de 0,3 soit $p = (D + \frac{1}{2} H)/N$; ce qui signifie que 30% de tous les allèles de la population située au locus A sont A et la fréquence de l'allèle a est de $(1-p)$ ou 0,7 (c'est-à-dire que 70% de tous les allèles de la population située au locus A sont a).

Ainsi, $p = 0,3$ et $q = 0,7$.

Dans la génération issue de ce croisement les génotypes apparaîtront avec les fréquences suivantes :

$$\begin{aligned} AA &= p^2 = 0,3 \times 0,3 = 0,09 \\ Aa &= 2pq = 2 \times 0,3 \times 0,7 = 0,42 \\ aa &= q^2 = 0,7 \times 0,7 = 0,49 \\ \text{Total} &= 1,00 \end{aligned}$$

Ainsi, si la population comprend encore 100 plantes, il y aura environ neuf plantes avec le génotype AA , 42 plantes avec le génotype Aa et 49 avec le génotype aa .

Dans cette nouvelle population, le nombre d'allèles A est de 18 (du génotype AA) + 42 (du génotype Aa) = 60 sur un total de 200 allèles. La fréquence de l'allèle A est donc de 0,3. La fréquence de a peut être établie de la même façon, elle sera de 0,7.

Ainsi, les fréquences des allèles $A = p = 0,3$ et $a = q = 0,7$ sont demeurées constantes depuis la population d'origine. Dans la population d'origine les

fréquences génotypiques étaient de $AA = 0,2$, $Aa = 0,2$, et $aa = 0,6$. Après une génération de panmixie, les fréquences génotypiques sont de $AA = 0,09$, $Aa = 0,42$ et $aa = 0,49$.

A partir de cette génération, les fréquences de génotype et de gènes demeureront inchangées à condition toutefois que les conditions suivantes soient maintenues :

- Une panmixie totale dans des populations diploïdes très importantes;
- Que l'allèle A et l'allèle a conviennent également c'est-à-dire, que la plante n'ait aucun avantage à posséder A plutôt que a , ou vice-versa. Si un des allèles confirme plus que l'autre un caractère supérieur, la pression de sélection (soit naturelle soit induite par le sélectionneur) favorisera un allèle et agira contre l'autre;
- Qu'il n'existe pas de migration différentielle d'un allèle dans ou hors de la population;
- Que le taux de mutation de l'allèle A en a soit le même que celui de l'allèle a en A .

Lorsque la population n'est pas en équilibre les fréquences de p et q sont obtenues par les formules $p = (D + \frac{1}{2} H)/N$. Cependant, lorsque les populations sont en équilibre Hardy-Weinberg, les fréquences de p et q sont égales à la racine carrée de la fréquence du type homozygote pour ce gène. En utilisant l'exemple ci-dessus, on peut déterminer que la fréquence de l'allèle A de la population originale est $p = (D + \frac{1}{2} H)/N$ ou $(20 + \frac{1}{2} [20])/100 = 0,3$ après une génération de panmixie. La fréquence génotypique de l'homozygote AA est de 0,09 et la racine carrée de 0,09 est 0,3. La formule $p = D + \frac{1}{2} H$ est encore valable, c'est-à-dire que $p = 0,09 + \frac{1}{2} (0,42) = 0,09 + 0,21 = 0,3$.

Dans une population obéissant à la panmixie la variabilité ne change pas d'une génération à l'autre (Crow et Kimura 1970).

La fréquence maximum de la fraction hétérozygote de la population (H) ne peut jamais excéder 0,5, ceci lorsque $p = q = 0,5$. H peut être supérieur à D ou Q mais jamais supérieur à $D \times Q$.

Une autre propriété d'une population en équilibre est que la proportion (ou nombre) d'hétérozygotes est le double de la racine carrée du produit des deux proportions (ou nombres) homozygotes; soit :

$$\frac{H}{\sqrt{D \times R}} = 2.$$

Cette propriété offre une possibilité de test simple pour l'équilibre—un test présentant l'avantage d'un

rapport : 2, indépendant des fréquences géniques de la population.

Notons que si $D = 0,10$, $H = 0,20$, et $R = 0,70$

$$\frac{H}{\sqrt{D+R}} = \frac{0,20}{\sqrt{0,10 \times 0,70}} = \frac{2}{0,265} \neq 2 \text{ mais que}$$

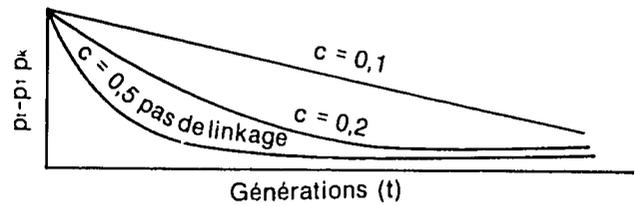
$$\frac{0,32}{\sqrt{0,40 \times 0,64}} = \frac{0,32}{\sqrt{0,256}} = \frac{0,32}{0,16} = 2$$

en utilisant les fréquences avant et après que l'équilibre soit atteint.

Notons: $p = 0,1 + 0,1 = 0,2$
 $q = 1 - p = 0,8$
 $D = p^2 = (0,2)(0,2) = 0,04$
 $H = 2pq = 2(0,2)(0,8) = 0,32$
 $R = q^2 = (0,8)(0,8) = 0,64$

Bien que reposant sur l'hypothèse d'une population panmictique importante, libre de pressions telles la mutation et la sélection, la loi de Hardy-Weinberg apparaît approximativement exacte pour une grande majorité de gènes dans la plupart des espèces à fécondation croisée (Crow et Kimura 1970). Les déviations observées sont principalement dues à la sélection consanguine et à l'accouplement assortatif. La sélection consanguine est extrême chez les espèces autogames mais il peut intervenir chez les espèces à fécondation croisée peu espacées dans un champ ou géographiquement. L'accouplement assortatif a lieu dans les cas où les croisements auraient tendance à se produire plus souvent entre certains types qu'entre d'autres. Par exemple, dans un composite de sorgho, les types à floraison précoce ont tendance à se croiser ensemble et les types tardifs également, simplement à cause de l'époque de la floraison.

Loi de Hardy-Weinberg lorsque plus d'un locus est concerné: La loi de Hardy-Weinberg affirme que l'équilibre s'établit à n'importe quel locus après une génération de panmixie. Il est possible que les allèles situés aux deux loci présentent des fréquences de panmixie mais ne soient pas cependant en équilibre les uns avec les autres (Crow et Kimura 1970). En fait, l'équilibre entre deux loci n'est pas atteint après une génération de panmixie mais lentement sur plusieurs générations. L'effet de linkage ralentit la progression vers cet équilibre; plus le linkage est étroit, plus lente est la progression.



Le graphique ci-dessus montre l'approche de la phase génétique ou l'équilibre de linkage. L'ordonnée (axe y) est la différence de fréquence du génotype à un moment donné et la fréquence d'équilibre, p_1, p_2, p_k . La valeur de "c" donne la fréquence de linkage entre deux loci.

La valeur d'équilibre est approchée lentement, et (théoriquement) jamais atteinte. Dans le cas d'une absence de linkage ($c = 0,5$), la différence entre la fréquence génique réelle et la valeur d'équilibre est réduite de moitié dans chaque génération et il faut environ sept générations pour atteindre un équilibre approximatif. Environ 69 générations sont nécessaires pour "c" égal à 0,01 et environ 693 générations pour c égal à 0,001.

On peut trouver la fréquence génique composite de deux loci en multipliant ensemble les fréquences géniques individuelles. Par exemple, si la fréquence au locus Aa est de 0,3 et au locus bb de 0,65, la fréquence composite du génotype Aabb sera de $0,3 \times 0,65 = 0,195$.

Fréquence génique dans un croisement entre populations de différentes fréquences géniques: La question se pose parfois de savoir ce qui se passe lorsque deux populations sont croisées; en particulier si, par exemple, un donneur de tolérance aux insectes, agronomiquement médiocre, doit être croisé avec un type agronomiquement excellent mais sensible. Que devient la fréquence génique pour la résistance aux insectes?

Si on envisage deux populations, où p_1 et p_2 représentent les fréquences pour l'allèle A; alors la fréquence génique dans la génération F_1 est la moyenne des fréquences de population des deux géniteurs, soit $p = (p_1 + p_2)/2$. Si la fréquence pour le facteur de résistance dans le parent donneur est $p = 0,8$ et dans le matériel agronomiquement excellent $p_2 = 0,04$, alors la fréquence génique dans la descendance du croisement entre les deux sera $p = (p_1 + p_2)/2 = (0,8 + 0,04)/2 = 0,42$. La fréquence génique pour le caractère de résistance est réduite d'environ la moitié.

L'hybridation entre deux populations entraîne une diminution initiale de l'homozygotie, suivie d'une augmentation de la fréquence jusqu'à un point à mi-chemin entre les populations des pa-

rents. L'effet de linkage est de ralentir le taux de progression vers l'équilibre (Mather 1963).

Facteurs modifiant la fréquence génique

Il existe deux types principaux de processus modifiant les fréquences géniques : un *processus systématique* prévisible quant à la direction et à l'importance de la modification et un *processus de dispersion* intéressant uniquement les petites populations et dont l'importance mais non la direction est prévisible. Les processus systématiques sont la sélection, la migration et la mutation (Falconer 1964). Les exemples suivants sont une démonstration de ces processus.

La variété de sorgho Shenoli est sensible à une maladie cryptogamique, le mildiou. Supposons qu'en Inde cette maladie soit très importante autour de Sangli, moins grave autour de Dharwar et rare à Coimbatore. La plus grande partie de la collection observée à Dharwar est exempte de cette maladie, ce qui laisse supposer que la sensibilité peut être récessive dans la nature et gouvernée par un nombre relativement limité de gènes. Pour plus de clarté dans cette discussion, nous admettons que la sensibilité est gouvernée par le seul allèle récessif *dm*, de telle sorte que les plantes *DmDm* et *Dmdm* sont également résistantes. (Ces symboles et le postulat génétique sont hypothétiques.)

Si l'on croise une plante *DmDm* et une plante *dmdm*, la génération F_1 (*Dmdm*) sera résistante. Dans 1000 plantes F_2 , la fréquence prévue des plantes résistantes serait de $\frac{3}{4}$ (750 individus du génotype *DmDm* ou *Dmdm*) et celle des plantes sensibles de $\frac{1}{4}$ (250 individus de génotype *dmdm*). Une proportion de 730 à 270 correspondrait à ces précisions.

Chez ces 1000 individus, la moitié des gamètes sera *Dm*, c'est-à-dire deux gamètes du géniteur homozygote dominant et deux du géniteur hétérozygote soit $AA + 2 Aa$; et la moitié des gamètes sera *dm*; c'est-à-dire deux gamètes du parent récessif et deux de l'hétérozygote. En fonction de la génétique des populations, la fréquence génique de *dm* (représentée par *q*) sera de $\frac{1}{2}$ et la fréquence génique de *Dm* (représentée par *p*) sera également de $\frac{1}{2}$.

La fréquence génique demeurera inchangée si l'on utilise cette population F_2 pour une plantation importante à Coimbatore et que l'on permette alors la fécondation libre. (Dans la présente discussion on suppose que le mildiou est totalement absent à Coimbatore : il n'y a pas de pression de sélection

vis-à-vis de l'allèle récessif parce qu'il n'y a pas d'organisme pathogène.) Ce que l'on peut démontrer de la façon suivante :

		Gamètes femelles	
		0,5 <i>Dm</i>	0,5 <i>dm</i>
Gamètes mâles	0,5 <i>Dm</i>	<i>DmDm</i> 0,25	<i>Dmdm</i> 0,25
	0,5 <i>dm</i>	<i>Dmdm</i> 0,25	<i>dmdm</i> 0,25

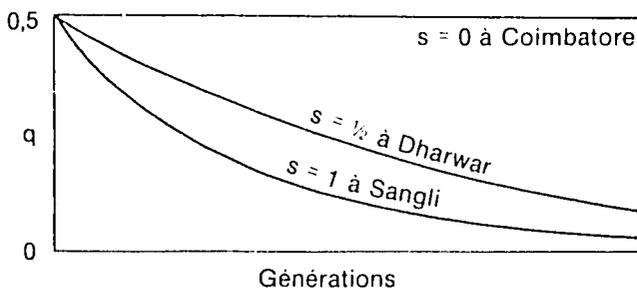
$$\begin{aligned} DmDm (0,25) + 2 Dmdm (0,50) &= \frac{3}{4} \\ dmdm (0,25) &= \frac{1}{4} \end{aligned}$$

On obtient la même fréquence que précédemment en condition de panmixie. En l'absence de facteurs tendant à modifier la fréquence génique, la fréquence génique de cette population sera toujours $p = 0,5$ et $q = 0,5$. Ce principe a été discuté dans le cadre de la loi de Hardy-Weinberg.

Supposons que cette même population F_2 ait été également plantée à Dharwar et à Sangli. Les plantes gravement infectées par le mildiou ne se reproduiront pas (admettons qu'aucune ne le fasse). Admettons qu'à Sangli toutes les plantes sensibles succombent à cette maladie, contre la moitié seulement à Dharwar (la pression de sélection "s", sera alors égale à 1 à Sangli et à $\frac{1}{2}$ à Dharwar). Pour une plantation de 1000 individus F_2 à Sangli, seuls 730 plantes résistantes produiront des graines, 270 plantes ne produiront rien parce qu'elles sont malades. La population reproductrice est *DmDm*:2 *Dmdm* et les gamètes de la population seront 4 *Dm*:2 *dm*; c'est-à-dire que $\frac{4}{6} = \frac{2}{3}$ sera *Dm* et $\frac{2}{6} = \frac{1}{3}$ sera *dm* ($p = \frac{2}{3}$; $q = \frac{1}{3}$). Ainsi à Sangli, après une génération la fréquence de *Dm* est passée de $p = \frac{1}{2}$ à $p = \frac{2}{3}$. Cette modification de la fréquence génique sera tout d'abord rapide pour diminuer ensuite, de telle sorte que de nombreuses générations seront nécessaires avant que le caractère récessif disparaisse. En fait, l'allèle *dm* ne disparaîtra jamais totalement, par suite d'une certaine fréquence de mutation de l'allèle *Dm* en *dm* (que les généticiens des populations représentent souvent par la lettre μ). Dans ce cas, alors, la fréquence génique (au lieu d'être en équilibre à $p = q = 0,5$ comme à Coimbatore) sera en équilibre à une valeur de *q* faible lorsque la perte de l'allèle *dm* due à la sélection sera contrebalancée par la fréquence de mutation de *Dm* en *dm*. (Une discussion élargie de ce point est présentée plus loin dans ce chapitre.)

A Dharwar, une moitié seulement des plantes

dmdm de la population F_2 produira des graines. La proportion zygotique des plantes productrices de graines est donc de 1 DmDm:2 Dmdm: $\frac{1}{2}$ dmdm ou 2 DmDm:4 Dmdm:dmdm. Le nombre de gamètes Dm sera de $4 + 4 = 8$ et de gamètes dm de $4 + 2 = 6$. La fréquence de Dm sera de $\frac{8}{14}$ (0,57), chiffre supérieur à $\frac{1}{2}$ (0,50) mais inférieur à $\frac{2}{3}$ (0,66) où $s = 0$ et $s = 1$ respectivement. La fréquence de dm sera de $\frac{6}{14}$ (0,43), ce qui est inférieur à $q = 0,5$ ($s = 0$) mais supérieur à $q = 0,33$ ($s = 1$). Le même point d'équilibre que dans le cas précédent sera atteint mais en prenant plus de temps. La modification de la fréquence génique (Δq) de q est la suivante :



Cette figure est très approximative, de nombreuses générations pouvant être concernées.

Supposons que chaque année certaines graines de cette culture aient dû être achetées à Coimbatore (disons 10%) et que ces graines aient été mélangées pour une part égale à d'autres graines produites dans la région de Sangli. Dans ces 10%, $\frac{1}{4}$ des plantes seront DmDm, $\frac{1}{2}$ Dmdm et $\frac{1}{4}$ dmdm. Par conséquent, $\frac{1}{40}$, ou 2,5% des plantes dans les champs des cultivateurs seraient sensibles et ne produiraient pas de graines. La moitié également de ces 10% serait hétérozygote pour le facteur Dmdm, la fréquence de q augmentant de 2 $\frac{1}{2}$ %. Cette modification de la fréquence des gènes est appelée *migration* par les généticiens des populations. Si la fréquence de q est en équilibre entre les pressions de sélection et de mutation, la migration (tendant à augmenter q) agira dans la même direction que la mutation et une nouvelle valeur d'équilibre sera atteinte à une valeur supérieure de q . Là encore, tout ceci est très approximatif, car il faudrait de nombreuses générations pour passer d'une fréquence à une autre et il est peu vraisemblable que le taux de migration demeure constant si longtemps. (En fait, si le sélectionneur et le phytopathologiste travaillaient de façon efficace ils essaieraient probablement d'éviter que les graines récoltées dans la région de Coimbatore soient transportées et vendues à Sangli.)

Si le sélectionneur diffusait une variété résistante au mildiou, l'utilisation des graines de cette population F_2 d'origine pourrait pratiquement disparaître de la région de Sangli. Quelques agriculteurs pourraient encore continuer à cultiver une petite parcelle de leur jardin potager dans un but précis. Dans ces conditions, la fréquence génique q peut se modifier de génération en génération sous l'effet de combinaisons fortuites. Cette variation accidentelle de q dans un sens ou un autre peut être nettement supérieure à l'influence de la sélection, de la migration ou de la mutation. Cette variation accidentelle, cependant, n'est importante que lorsque le volume de la population est très réduit. Il est également possible, uniquement par fait du hasard, que la fréquence génique (q) atteigne 0 après relativement peu de générations dans une petite population. L'implication pratique la plus importante de tout ceci pour le sélectionneur serait le maintien de l'allèle dm dans la population à des fins de collection. Certains pathologistes pourraient dans les prochaines années avoir besoin de plantes dmdm, or si aucune population suffisamment importante n'a été maintenue dans sa collection par le sélectionneur, cet allèle risque d'être perdu pour toujours.

L'étude qui suit est une discussion élargie de tout ce qui vient d'être exposé avec examen d'un plus grand éventail de possibilités. Un point fondamental ne doit pas être perdu de vue : que $q = 0,5$, $0,05$ ou $0,0005$, chaque fois qu'une population F_2 sera issue d'un croisement DmDm \times dmdm la proportion de descendants prévue sera de $\frac{3}{4}$ Dm- à $\frac{1}{4}$ dmdm.

Sélection

Pour le sélectionneur la sélection est probablement la plus importante force à sa disposition lui permettant de modifier la fréquence génique. Le but de la sélection est la production d'une population de valeur moyenne supérieure (ou inférieure) à la valeur moyenne de la population des parents. Cette différence serait due à des différences de génotypes et non au milieu. Dans une sélection pour le rendement, par exemple, le rendement moyen de la descendance des plantes sélectionnées devrait être supérieur au rendement moyen de la population à partir de laquelle les plantes ont été sélectionnées. La population sélectionnée peut être un bulk des plantes sélectionnées, ou bien la descendance de chaque plante sélectionnée peut être cultivée séparément et les progrès mesurés par le comportement moyen des lignées.

Pour être efficace la sélection doit remplir deux conditions :

- Il doit y avoir une variation phénotypique pour le caractère sélectionné;
- Une partie au moins de cette variation doit être génétique.

Aucune sélection ne sera possible si la première condition n'est pas satisfaite—puisqu'aucune différence ne serait observée entre les parents.

Lorsque la variation phénotypique observée est entièrement due à la variation du milieu (non héritable) la descendance des plantes sélectionnées n'est pas génétiquement différente des parents et aucun progrès génétique n'est possible.

Pour illustrer ce point, considérons les exemples suivants présentés par Johannsen (1903). Celui-ci a sélectionné dans un mélange de lignées de haricots

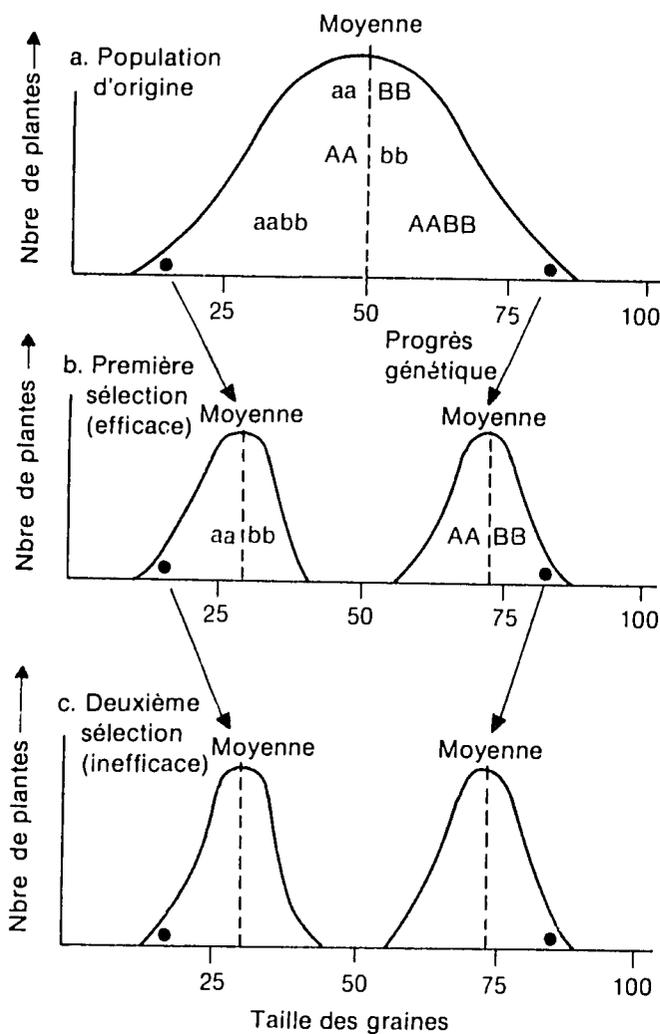


Figure 3.26: Sélection dans un mélange de lignées pures.

homozygotes un certain nombre de graines d'après leur taille. Il a découvert que la descendance des grosses graines était grosse, celle des graines moyennes moyenne et celle des petites graines petite. La descendance de chaque sélection présentait une variation, mais beaucoup moins que dans la population d'origine et Johannsen a découvert qu'une sélection plus avancée se révélait inutile. Dans la population d'origine la variation était à la fois génétique et due au milieu, mais après sélection, la variation restante était due au milieu. La Figure 3.26 montre ce qui pourrait se produire si quatre lignées homozygotes étaient présentes dans la population d'origine : AABB, AAbb, aaBB, et aabb. On peut voir que la sélection ne serait efficace qu'en cas de variation génétique et qu'une sélection dans une lignée pure (une population de plantes homozygotes identiques) serait inutile.

Dans la pratique, les sélectionneurs effectuent généralement des sélections dans les populations en cours de ségrégation après un croisement (F_2 , F_3 , F_4 , etc.). Dans ce cas-là, les plantes sélectionnées ne seront pas homozygotes pour tous les loci et la sélection peut se révéler efficace pendant plusieurs générations—jusqu'à ce qu'une homozygotie presque totale soit atteinte.

Héritabilité : La variance phénotypique observée (V_P) est constituée de la variance génotypique (V_G) plus la variance écologique (V_E). Pour que la sélection soit efficace, V_G doit être importante et V_E faible. La proportion de la variance totale qui est génétique est appelée *héritabilité* (H). Elle est généralement exprimée en pourcentage, ainsi :

$$H = \frac{V_G}{V_P} \times 100$$

$$\text{ou } H = \frac{V_G}{V_G + V_E} \times 100$$

On utilise parfois pour l'estimation de l'héritabilité uniquement la variance génétique additive (V_A), la composante la plus importante de la variance génétique. Dans ce cas-là :

$$H = \frac{V_A}{V_P} \times 100$$

$$\text{ou } H = \frac{V_A}{V_A + V_D + V_N + V_E} \times 100$$

Cette forme d'héritabilité est quelquefois appelée *héritabilité au sens restreint* et celle tenant compte de la variance génétique totale *héritabilité au sens large*. Une héritabilité élevée signifie que le géno-

type joue un rôle plus important que le milieu dans la détermination du phénotype. Un caractère à héritabilité élevée est donc plus susceptible de répondre à la sélection qu'un caractère à héritabilité faible. En général, les caractères gouvernés par quelques gènes seulement ont une héritabilité supérieure à celle des caractères polygéniques tels le rendement, la maturité, l'indice de récolte, etc.

Progrès génétiques dus à la sélection : L'augmentation de la valeur moyenne d'une population par la sélection dépendra de trois choses :

- l'héritabilité du caractère concerné;
- la variation totale de la population dans laquelle sera opérée la sélection, mesurée en V_p , et
- la pression de sélection (c'est-à-dire, la proportion de population sélectionnée).

La variance phénotypique, V_p , est importante puisque l'éventail de sélection ne sera pas très large si le degré de variation de la population est faible (Fig. 3.27). Même si l'héritabilité est de 100%, le progrès génétique sera très faible lorsque la variation phénotypique sera réduite.

La pression de sélection est également impor-

tante, car la sélection des meilleures plantes (en nombre limité) est susceptible de promouvoir un progrès plus important que la sélection de nombreuses plantes moyennement bonnes, mais aux dépens toutefois d'une perte de variation rapide. Une sélection très stricte sera plus efficace si l'héritabilité est élevée. Si, au contraire, celle-ci est faible (c'est-à-dire que le milieu a une grande influence), de nombreux génotypes potentiellement bons ne seront pas sélectionnés si seules quelques plantes sont choisies. Il peut donc être préférable de relâcher la pression de sélection.

Jusqu'ici la discussion a été générale, et a surtout porté sur les concepts appliqués susceptibles d'être utiles au sélectionneur. La discussion qui suit examine les effets de la sélection un peu plus en détail. Son objet est l'évaluation des effets de la sélection sur les modifications des fréquences géniques en cas de dominance ou de récessivité et par rapport aux fréquences géniques initiales. Les forces contraires tendant à contrebalancer les effets de la sélection seront également étudiées.

La force de sélection est exprimée en coefficient de sélection "s". En général, la contribution du

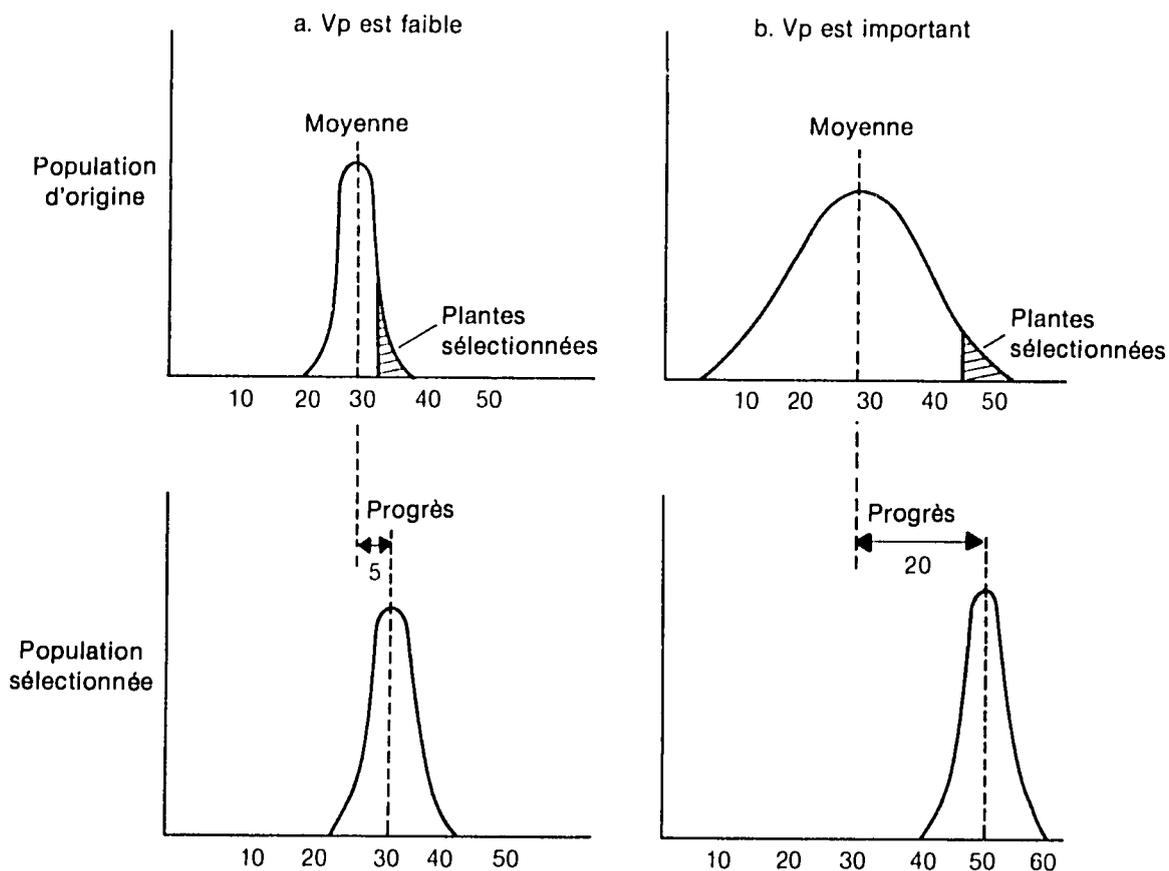


Figure 3.27. Progrès génétique dû à la sélection à partir de populations de différentes valeurs de V_p lorsque H est impor-

génotype favorable est considérée égale à 1 et la contribution du génotype moins favorable à 1-s. La valeur de s peut varier entre 0 et 1. Par exemple si s = 0,1 pour chaque 100 zygotes possédant un génotype favorable, il y en aura 90 à génotype moins favorable.

Envisageons le cas d'une sélection partielle contre le génotype récessif :

	AA	Aa	aa	Total
Proportion initiale	p^2	$2pq$	q^2	1
Ajustement relatif	1	1	1-s	
Après sélection	p^2	$2pq$	$q^2(1-s)$	$1-sq^2$

Après sélection le total peut être déduit comme suit :

$$\begin{aligned} & p^2 + 2pq + q^2(1-s) \\ &= (1-q)(1-q) + 2(1-q)q + q^2 - sq^2 \\ &= 1 - 2q + q^2 + 2q - 2q^2 + q^2 - sq^2 + 1 - sq^2 \end{aligned}$$

La fréquence dans la génération suivante peut être déterminée de la façon suivante :

Rappelons que la fréquence génique peut être obtenue en utilisant la formule suivante :

$$q = \frac{\frac{1}{2}H+Q}{N} \text{, lorsque } q = \frac{pq+q^2(1-s)}{1-sq^2}$$

Si $p = 1-q$ et que l'on multiplie (1-s) par q^2 , on obtient :

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{q(1-q) + q^2 - sq^2}{1-sq^2} = \frac{q - q^2 + q^2 - sq^2}{1-sq^2} \\ q_1 &= \frac{q - sq^2}{1-sq^2} = \frac{q(1-sq)}{1-sq^2} \end{aligned}$$

Cette équation peut être généralisée pour que le rapport entre deux générations devienne :

$$q(n+1) = \frac{q_n(1-sq_n)}{1-sq_n^2}$$

et la différence de fréquence génique, Δq , entre deux générations devienne :

$$\begin{aligned} \Delta q &= q_1 - q = \frac{q(1-sq)}{1-sq^2} - q \\ &= q \frac{(1-sq)}{1-sq^2} - q \frac{(1-sq^2)}{1-sq^2} \\ &= \frac{q-sq^2 - q-sq^2}{1-sq^2} \\ &= \frac{-sq^2 + sq^3}{1-sq^2} = \frac{-sq^2(1-q)}{1-sq^2} \end{aligned}$$

Le changement de fréquence génique pour un certain nombre de cas différents de dominance est présenté dans le Tableau 3.1. Ces équations peuvent également être représentées graphiquement (Fig. 3.28).

Les graphiques et les équations montrent que :

La sélection est la plus efficace à des fréquences géniques intermédiaires; elle l'est la moins lorsque la fréquence génique q est soit très importante soit très réduite. Par exemple, lorsque $s = 0,2$ et $q = 0,99$,

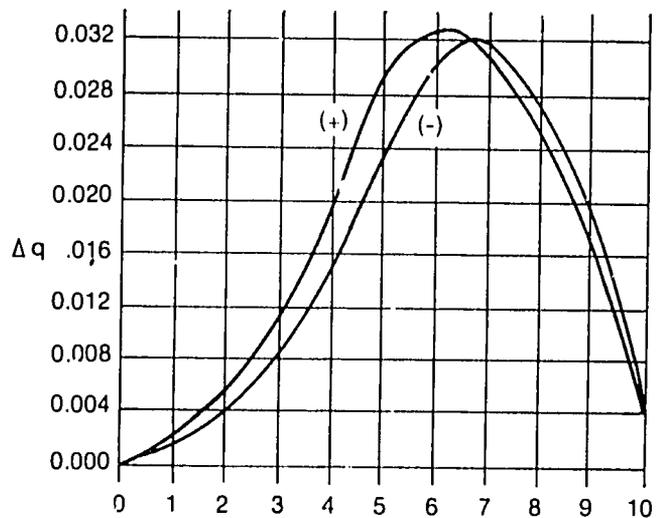
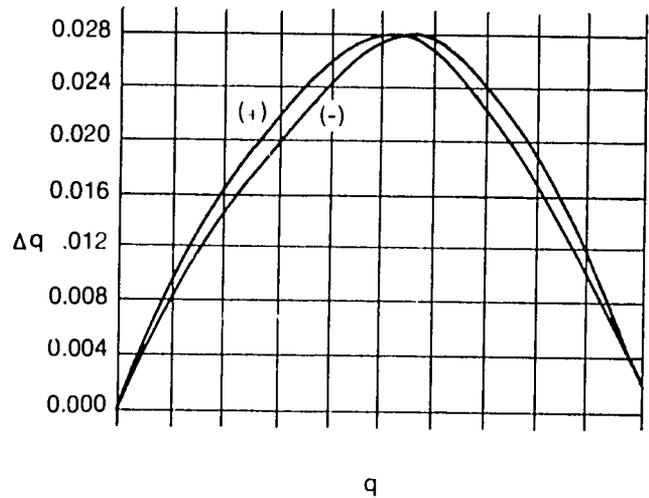


Figure 3.28: Changements de fréquence, Δq , avec une intensité de sélection $s = 0,2$ pour différentes valeurs de fréquence génique initiale, q . La figure supérieure, un allèle sans dominance, la figure inférieure, un allèle avec dominance totale. Les courbes marquées (-) se réfèrent à la sélection contre l'allèle dont la fréquence est q , de sorte que Δq est négatif. Les courbes marquées (+) se réfèrent à une sélection en faveur de l'allèle de sorte que $|\Delta q|$ est positif (Source : Falconer 1964).

Tableau 3.1: Changement de la fréquence génique, Δq , après une génération de sélection dans différentes conditions de dominance.

Conditions de dominance et sélection	Fréquences initiales et ajustement des génotypes			Changement de la fréquence Δq , de l'allèle A_2	
	A_1A_1 p^2	A_1A_2 $2pq$	A_2A_2 q^2		
Pas de dominance, sélection contre A_2	1	$1-\frac{1}{2}s$	$1-s$	$\frac{-\frac{1}{2}sq(1-q)}{1-sq}$	(1)
Dominance totale, sélection contre A_2A_2	1	1	$1-s$	$\frac{-sq^2(1-q)}{1-sq^2}$	(2)
Dominance totale, sélection contre A_1	$1-s$	$1-s$	1	$\frac{-sq^2(1-q)}{1-s(1-q^2)}$	(3)
Surdominance, sélection contre A_1A_1 et A_2A_2	$1-s_1$	1	$1-s_2$	$\frac{+pq(s_1p-s_2q)}{1-s_1p^2-s_2p^2}$	(4)

$\Delta q = -0,00244$; lorsque $q = 0,5$, $\Delta q = -0,0263$ et si $q = 0,01$, alors $\Delta q = 0,0000198$ (Li 1958).

La sélection pour ou contre un allèle récessif rare est inefficace parce qu'un allèle rare dans une population se trouve presque toujours dans l'hétérozygote.

Le changement de fréquence génique d'une valeur extrême de q à l'autre est présenté dans la Figure 3.29. Le signe négatif (-) indique une sélection contre l'allèle et le signe positif (+) une sélection pour l'allèle. On suppose une pression de sélection constante de $s = 0,2$.

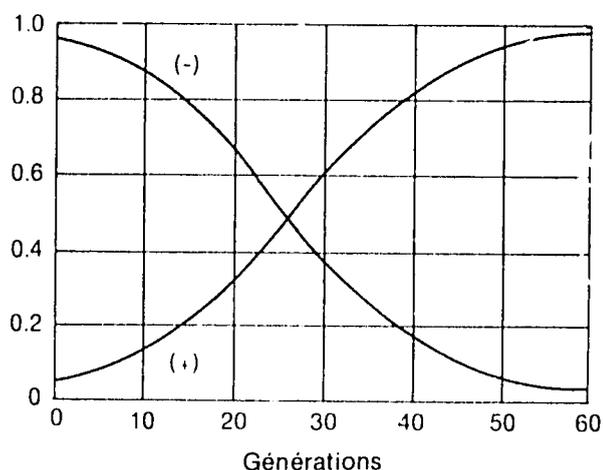


Figure 3.29: Changement de fréquence génique d'une valeur extrême de q à l'autre avec une pression de sélection constante de $s = 0,2$.

Il est évident que le changement de fréquence génique est tout d'abord lent, qu'il augmente à la valeur intermédiaire de q pour diminuer ensuite. Notons également que les valeurs de q tendent vers les extrêmes de 1 ou 0 (c'est-à-dire la fixation ou l'élimination).

Lorsque la sélection favorise l'hétérozygote, la fréquence génique tend vers un équilibre aux valeurs intermédiaires de q —aucun allèle n'est perdu. Si s_1 = pression de sélection contre l'homozygote AA , et si s_2 = pression de sélection contre l'homozygote aa , on peut voir que les valeurs d'équilibre p et q sont :

$$p = \frac{s_2}{s_1 + s_2} \quad \text{et} \quad q = \frac{s_1}{s_1 + s_2}$$

Ces valeurs d'équilibre ne dépendent que de la pression de sélection et sont indépendantes de la fréquence génique. Quelque soit la fréquence génique initiale les valeurs d'équilibre de p et q seront les mêmes (Li 1958).

Considérons l'exemple où $s_1 = 0,15$ et $s_2 = 0,35$ contre AA et aa respectivement (Fig. 3.30).

La valeur d'équilibre :

$$q = \frac{s_1}{s_1 + s_2} = \frac{0,15}{0,15 + 0,35} = 0,30$$

On a découvert que dans la nature une légère supériorité des hétérozygotes dans une population

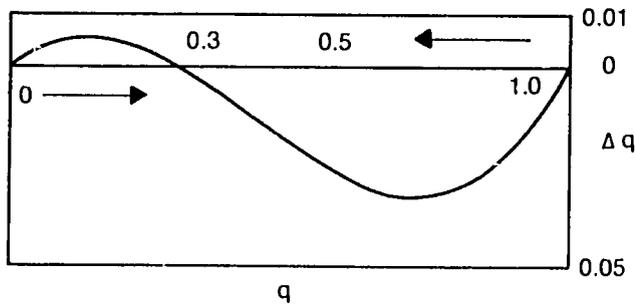


Figure 3.30: Approche de l'équilibre avec une pression de sélection contre AA de $s = 0,15$ et contre aa de $s = 0,35$

suffit pour maintenir les fréquences géniques à des valeurs intermédiaires. Il semblerait que la sélection en faveur des hétérozygotes soit courante. Fréquemment, les gènes concernés ont peu d'effet (ou sont pratiquement neutres) dans le milieu, d'où une pression de sélection faible.

On les rencontre souvent à l'état hétérozygote, indiquant un avantage sélectif pour cet état. Lorsqu'un sélectionneur transporte des variétés uniformes d'un milieu à un autre il observe fréquemment l'effet d'une hétérozygotie résiduelle.

Mutation

Bien que récessives en général, les mutations peuvent se produire en conditions dominantes. Le taux de mutation dans les deux sens est constant et de l'ordre de 10^4 à 10^8 (c'est-à-dire une mutation de A en a, chez 10 000 à 100 000 000 de gamètes). Les mutations du type récessif au type sauvage (normal) se sont généralement produites à environ $1/10^6$ du taux de mutations du type sauvage au récessif. La mutation est l'ultime source de nouveaux allèles, et donc la source de la variabilité génétique. Cependant, l'effet de la mutation sur une population est si faible qu'il ne présente un intérêt que pour l'évolution et donc limité dans un programme de sélection appliqué, c'est-à-dire que la mutation a un effet très réduit sur la modification de la fréquence génique. (Cependant l'emploi de la mutation comme outil d'obtention d'un caractère désirable est un autre problème.)

Alors que la mutation tend à accroître la variabilité génétique, la plupart des mutants sont nuisibles et un grand nombre est probablement perdu dans une

population. La probabilité qu'une mutation soit perdue dans une population après "n" générations est présentée dans le Tableau 3.2 (Li 1958).

Ce tableau montre qu'un allèle mutant sera perdu dans une population s'il ne possède pas d'avantage sélectif et que cette probabilité est plus forte dans les premières générations. Il y aura, en cas d'avantage sélectif, même léger, probabilité du maintien indéfini de l'allèle dans la population.

La mutation altère la fréquence génique parce qu'elle se répète à une fréquence constante; ainsi, même si certains allèles mutés se perdent, certains demeureront et s'établiront dans la population. En l'absence de tout autre facteur affectant la fréquence génique, la valeur d'équilibre de p et q ne dépendrait que des taux de mutation. Si l'on désigne par u, le taux de mutation de A en a et par v le taux de mutation de a en A, les valeurs d'équilibre sont alors de :

$$q = \frac{\mu}{\mu + \nu} \text{ et } p = \frac{\nu}{\mu + \nu}$$

Ces valeurs d'équilibre seraient atteintes très lentement; en fait les taux de mutation représentent un facteur si faible par rapport aux autres forces (telle la sélection) dans la modification de la fréquence génique, qu'il est douteux que ces valeurs d'équilibre soient jamais atteintes.

Tableau 3.2: Probabilité d'extinction d'un allèle mutant.

Génération n	Pas d'avantage sélectif		Avantage 1%	
	Perdu	Retenu	Perdu	Retenu
1	0,3679	0,6321	0,3642	0,6358
2	,5315	,4685	,5262	,4738
3	,6259	,3741	,6197	,3803
4	,6879	,3121	,6811	,3189
5	,7319	,2681	,7246	,2754
6	,7649	,2351	,7572	,2428
7	,7905	,2095	,7825	,2175
15	,8873	,1127	,8783	,1217
31	,9411	,0589	,9313	,0687
63	,9698	,0302	,9591	,0409
127	0,9847	,0153	,9729	,0271
Limite	1,0000	0,0000	0,9803	0,0197

Effets conjoints de la sélection et de la mutation

Le taux de modification de la fréquence augmentera si la sélection et la mutation vont dans le même sens. Par contre, si elles sont opposées (ce qui est généralement le cas) un équilibre stable sera atteint indépendamment de la fréquence génique, et ne dépendant que des coefficients de sélection et de mutation :

$$q = \frac{\sqrt{\mu}}{s}$$

Cet équilibre est stable, bien qu'approché très lentement—expliquant probablement pourquoi des récessifs défavorables demeurent dans les populations naturelles au lieu d'être perdus. L'existence du récessif est maintenu par mutation; ainsi Δq est-il généralement très faible. Par exemple, si le taux de mutation en mutant récessif est $\mu = 0,000018$ et la pression de sélection contre le zygote récessif est $s = 0,02$, la population en équilibre comprendra $\mu/s = 0,0009$ récessifs, avec $q = \sqrt{0,0009} = 0,03$. L'allèle récessif est alors surtout présent dans l'hétérozygote : $2(0,97)(0,03) = 0,0582$, presque 65 fois plus que celui du récessif homozygote, soit :

$$\frac{2pq}{q^2} = \frac{0,0582}{0,0009} = 65$$

On constate que le récessif existe encore dans l'hétérozygote lorsque q est très faible, et qu'il est pratiquement impossible de l'exclure d'une population.

Avec un taux de mutation (μ) de l'ordre de 10^{-5} , une pression sélective modérée suffit à maintenir l'équilibre à une fréquence très faible. Par exemple :

- Si $s = 0,001$, alors $q = \sqrt{\mu/s} = 0,1$ et $q^2 = 0,01$
- Si $s = 0,01$, alors $q = \sqrt{\mu/s} = 0,03$ et $q^2 = 0,001$
- Si $s = 0,1$, alors $q = \sqrt{\mu/s} = 0,01$ et $q^2 = 0,0001$

Ainsi si un allèle mute au taux de $\mu = 10^{-5}$, il suffit d'une sélection de 10% (0,1) vis-à-vis du zygote récessif pour maintenir sa fréquence à 1 chez 10 000 (0,0001). Cette étude porte sur les conditions d'une fréquence génique très faible, où les changements par mutation et sélection sont très réduits. Ces effets intéressants pour l'évolution présentent peu d'intérêt pratique pour le sélectionneur de plantes.

Subdivision et migration

Les populations naturelles apparaissent rarement comme des unités uniques évoluant de manière aléatoire. Elles sont plutôt divisées en sous-unités isolées par des barrières géographiques, génétiques et physiologiques. La division de populations importantes en sous-unités appelées *isolats* peut être partielle ou totale.

En cas de subdivision d'une population avec présence de panmixie au sein des sub-divisions, on constate une réduction de la fréquence des hétérozygotes et une augmentation de celle des homozygotes (Tab. 3.3).

La population des hétérozygotes dans la population totale ainsi que dans les populations subdivisées est inférieure à celle prévue si la population totale évoluait en panmixie. On peut également démontrer que la variance dans une population subdivisée est inférieure à celle qu'on observerait si la population totale évoluait en panmixie.

Il existe des possibilités de migration entre les populations lorsque celles-ci sont sub-divisées. L'effet de la migration est de rendre plus semblables (plus homogènes) les fréquences géniques des divers groupes. La migration apparaît comme une contre-force à la sub-division pour modifier les fréquences géniques. (Notons que la fréquence des hétérozygotes devrait augmenter.)

La migration entraîne également des variations dans une population. Un sélectionneur utilise les effets de la migration lorsqu'il désire développer par introduction la variation dans son programme de sélection.

A une échelle assez importante la migration peut emporter sur la pression de sélection comme force

Tableau 3.3: Subdivision d'une population importante en cinq (K=5) groupes de taille égale avec panmixie.

Groupe	p_i	q_i	p_i^2	$2 p_i q_i$	q_i^2
1	,9	,1	,81	,18	,01
2	,8	,2	,64	,32	,04
3	,7	,3	,49	,42	,09
4	,5	,5	,25	,50	,25
5	,1	,9	,01	,18	,81
Population totale	,6	,4	,44	,32	,24
Population sans subdivision			,36	,48	,16
Différence			+0,08	-,16	+0,08

de changement de la fréquence génique. Les sorghos cultivés le long de la Vallée du Nil en Egypte sont principalement du type durra et leur variation génétique est faible. Il est raisonnable de penser que la force de sélection est relativement faible parce que la variabilité est réduite. Il est probable qu'une introduction massive de matériel génétique et son interaction avec les durras égyptiens provoqueraient une modification de la fréquence de nombreux gènes—un changement plus important que celui que pourrait causer la sélection. La variation augmenterait et la sélection pourrait être plus efficace.

On observe dans les petits sous-groupes d'une population évoluant en panmixie, un certain pourcentage de consanguinité, représenté par le coefficient de consanguinité F . Le taux de perte de l'hétérozygotie est d'environ $\frac{1}{2N}$ par génération, où N est le nombre d'individus dans la population. L'effet de la migration est de réduire cette perte d'hétérozygotes; en d'autres termes, de contrebalancer les effets de l'inbreeding.

Petites populations et taille efficace des populations

L'étude ci-dessus a porté surtout sur les populations importantes, avec l'analyse de la façon dont les valeurs d'équilibre stable de la fréquence génique pourraient être atteintes. On constate avec la diminution de la taille de la population une dérive fortuite de la fréquence génique (un *processus de dispersion*) prévisible en quantités (probabilités) mais non en direction. L'effet de la dérive fortuite peut-être supérieur à celui de la sélection, de la migration et de la mutation. Chez une population de taille réduite, la fréquence génique peut varier grandement à la génération suivante. Le changement peut s'effectuer dans n'importe quelle direction et se faire au hasard (Tab. 3.4).

Tableau 3.4: Distribution de la probabilité de q dans une population de $N=50$ descendants d'une population parentale de $q=0,5$.

	q							
	,35	,35-	,40-	,45-	,50-	,55-	,60-	,65+
		,40	,45	,50	,55	,60	,65	
Probabilité	,002	,021	,136	,341	,341	,136	,021	,002

Source: Li 1958.

Dans une telle population, les loci varieront à la génération suivante si la fréquence génique de tous est de 0,5 : plus de 2% auront une fréquence de 0,60 à 0,65. D'autre part, s'il n'y a qu'un seul locus mais de nombreuses populations de 50 individus, à la génération suivante les populations seront de taille réduite avec différentes fréquences—2% d'entre elles avec une fréquence comprise entre 0,60 et 0,65.

La dérive fortuite par génération constatée dans le gène de la couleur "non Agouti" chez trois lignées de souris, chacune étant maintenue par six couples de parents par génération, est présentée dans la Figure 3.31.

La fréquence génique chez les trois lignées a varié au hasard, en plus et en moins, de 0,75 à 0,35 dans la génération 6 à 0,08 à 0,5 dans la génération 14. En fin de compte, la fréquence sera de 0 ou 1, et tous les membres de la population d'un faible volume seront homozygotes pour le gène, avec une fréquence 1. Si la fréquence est 0, le gène est perdu dans la population. Tous les gènes parviendront à la fixation (c'est-à-dire qu'ils auront une fréquence de 0 ou 1).

L'exemple ci-dessus portait sur trois lignées de souris, chaque lignée comprenant 12 individus (six couples). Les conséquences pratiques des populations de faible volume sont importantes pour le sélectionneur cherchant à maintenir une collection. Si, par exemple, un sélectionneur essaie de maintenir une collection en auto-fécondant cinq panicules, il est évident que le changement de fréquence génique peut être important, en modifiant considérablement la collection originale.

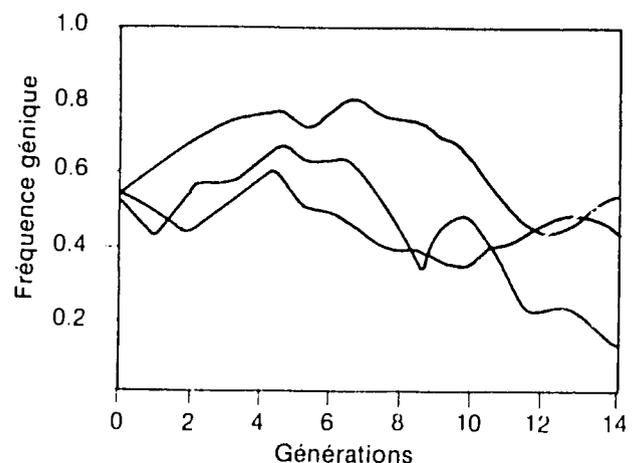


Figure 3.31: Dérive fortuite du gène de la couleur "non agouti" chez des populations réduites de souris.

On peut avancer l'idée que la dérive fortuite entraînera une différenciation considérable dans une population de 20 individus; cette différenciation serait modérée dans une population de 200 individus et la dérive fortuite serait négligeable dans des populations plus importantes.

Résumé

Le concept de la fréquence génique est décrit et illustré. Le sélectionneur s'intéresse au changement de la fréquence génique, à l'augmentation de la fréquence des caractères recherchés et au maintien ou à l'accroissement de la variation pour laquelle la sélection peut-être efficace. Les facteurs de sélection, de migration (introduction) et de taille des populations sont des concepts de base fréquemment utilisés par le sélectionneur. La mutation présente un intérêt périodique pour le sélectionneur, mais elle est généralement plus considérée comme la source d'un caractère recherché que comme un facteur de changement de la fréquence génique.

En général, les fréquences géniques changent plus rapidement si elles sont de valeur intermédiaire et la sélection se révèle très inefficace pour les caractères récessifs à des fréquences très faibles ou très élevées (approchant de 0 ou 1). On observe généralement des allèles récessifs rares chez les individus hétérozygotes. Il semble que, tant dans la nature que dans les populations en cours de sélection, il y ait un avantage sélectif pour l'hétérozygote et que les allèles avec une faible pression de sélection peuvent demeurer à l'état hétérozygote pendant de nombreuses générations. Malgré une fixation génétique présente dans la nature, la stabilité et l'adaptation atteintes chez les individus sont impressionnantes parce que mutation et sélection, migration et sélection et subdivision et migration s'opposent fréquemment et que la sélection favorise l'hétérozygote. Un grand nombre de ces facteurs tendent à maintenir les fréquences géniques à des valeurs intermédiaires et à permettre à une population de répondre aux changements de milieu. Un sélectionneur a souvent besoin qu'une variété présente une certaine variation, il préfère cependant maintenir une similitude suffisante pour que cette variété soit phénotypiquement reconnaissable. L'avantage sélectif des hétérozygotes est connu et le sélectionneur découvre souvent que l'hétérozygote (hybride) se comporte mieux qu'une variété relativement homozygote, en particulier sous les climats défavorables.

Le volume des populations pose toujours un

problème pour le maintien des collections. Lorsque de nombreuses collections de sorgho sont maintenues côte à côte, avec possibilité de pollinisation libre, les effets de la migration deviennent bientôt apparents (en premier chez les types à panicules plus lâches pour lesquels le taux d'allogamie est supérieur à celui des types à panicules compactes).

En évitant les effets du faible volume des populations, il faut tenir compte de la disponibilité en terres et du coût des opérations. Il existe, généralement, un compromis entre les installations et le coût d'une part et le volume de population désirable d'autre part. Les collections doivent être maintenues dans leurs zones d'origine. Lorsqu'elles sont transportées dans des lieux extrêmement différents, la variation peut s'accroître terriblement, la sélection naturelle peut éliminer certaines plantes dont le maintien est impossible et la question d'un volume de population efficace devient plus critique.

Il est évident que tous ceux qui s'intéressent à la sélection végétale doivent pouvoir se référer à quelques concepts de travail clairs pour ce qui concerne la génétique quantitative et les facteurs influençant les fréquences géniques.

Génétique du sorgho

Génétique de la maturité

Roy Quinby (1967), pionnier des recherches sur la maturité et la hauteur du sorgho, a identifié les facteurs situés à 4 loci qui influencent la maturité, Ma_1 , Ma_2 , Ma_3 et Ma_4 . Généralement, les types tropicaux sont dominants (Ma^-) aux quatre loci, et un état récessif (ma) à l'un de ces loci entraînera une adaptation à des zones plus tempérées (Tab. 3.5). En fait, la grande masse des lignées utilisées en zone tempérée s'est révélée récessive au locus 1. Les lignées utilisées dans un programme de conversion des lignées adaptées au climat tropical en lignées adaptées aux zones tempérées sont probablement récessives au locus 1 et dominantes aux trois autres loci.

On constate une interaction entre les gènes à ces loci : on peut identifier les classes dominantes et récessives aux loci Ma_2 , Ma_3 et Ma_4 dans une population F_2 lorsqu'il y a dominance au locus Ma_1 . En cas de récessivité (ma_1ma_1) la variation du nombre de jours jusqu'à la floraison diminuera, rendant difficile la séparation des génotypes (variation de 52,4 à 56,7 jours, contre 64,6 à 90,5 jours lorsqu'il y a dominance au locus 1—Tableau 3.6). Si Ma_1 est

Tableau 3.5: Identification de variétés de sorgho pour la dominance ou la récessivité à quatre loci de gènes et les époques de floraison à Plainview, Texas, (Etats-Unis) en 1964.

Variété	Génotype	Jours à la floraison
100-day Milo (100M)	Ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄ *	90
90-day Milo (90M)	Ma ₁ Ma ₂ ma ₃ Ma ₄	82
80-day Milo (80M)	Ma ₁ ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	68
60-day Milo (60M)	Ma ₁ ma ₂ ma ₃ Ma ₄	64
Sooner Milo (SM100)	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	56
Sooner Milo (SM90)	ma ₁ Ma ₂ ma ₃ Ma ₄	56
Sooner Milo (SM80)	ma ₁ ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	60
Sooner Milo (SM60)	ma ₁ ma ₂ ma ₃ Ma ₄	58
Ryer Milo (44M)	Ma ₁ ma ₂ ma ₃ Ma ₄	48
38-day Milo (38M)	ma ₁ ma ₂ ma ₃ Ma ₄	44
Hegari (H)	Ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ ma ₄	70
Early Hegari (EH)	Ma ₁ Ma ₂ ma ₃ ma ₄	60
Combine Bonita	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	52
Texas Blackhull Kafir	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	68
Combine Kafir-60	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	59
Redlan	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	70
Pink Kafir CI432	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	70
Red Kafir PI19492	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	72
Pink Kafir PI19742	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	72
Kalo	ma ₁ ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	62
Early Kalo	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	59
Combine 7078	ma ₁ Ma ₂ ma ₃ Ma ₄	58
TX414	ma ₁ Ma ₂ ma ₃ Ma ₄	60
Caprock	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	70
Durra PI54484	ma ₁ Ma ₂ ma ₃ Ma ₄	62
Fargo	Ma ₁ ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	70

Source : Quinby 1967

* Le gène peut être homozygote ou hétérozygote lorsque le symbole dominant est utilisé. Les deux allèles sont récessifs lorsque c'est le symbole récessif qui est utilisé.

dominant, Ma₂, Ma₃ et Ma₄ sont également dominants (tardifs) mais si le gène situé au locus 1 est récessif (ma₁ma₁), alors les récessifs ma₂ma₂, ma₃ma₃ et ma₄ma₄ peuvent exprimer la dominance. Il y a cependant une exception : lorsque le gène occupant le locus 1 est hétérozygote (ma₁ma₁) et que celui situé au locus 2 est récessif (ma₂ma₂) la maturité est plus tardive que si les deux allèles au locus M₂ sont dominants (ma₂ma₂) (Quinby 1974).

La plupart des lignées du programme de conversion tropical tempéré sont récessives au locus Ma₁ et dominantes aux autres loci. Cependant, le nombre de jours jusqu'à la floraison varie de 60 à 85. Les variétés tropicales à maturité précoce tendent à être précoces après conversion et les lignées tropicales à maturité tardive à être tardives après conversion pour adaptation aux zones tempérées. Cela est dû, pense-t-on aux différents allèles situés à un locus ou plus de maturité et non pas à un groupe de gènes modificateurs occupant d'autres loci. Les allèles connus situés aux quatre loci de la maturité sont recensés dans le Tableau 3.7.

Effet de la photopériode sur la floraison

Le sorgho est une plante à jours courts, c'est-à-dire que le bourgeon végétatif demeurera ainsi jusqu'à ce que la durée du jour soit assez courte pour que le bourgeon floral puisse se développer; c'est la *photopériode critique*. Les variétés possèdent des photopériodes critiques différentes. En général, une variété tropicale ne fleurira pas en zone tempérée parce que la durée du jour en été n'est jamais assez courte pour qu'elle puisse atteindre sa photopériode critique. Au moment où cette longueur du jour est enfin assez courte, les variétés sont très hautes

Tableau 3.6: Caractéristiques florales de huit génotypes de sorgho de maturité Milo plantés le 6 juin 1969 à Plainview, Texas (Etats-Unis).

Lignée	Génotype	Jours à l'initiation florale	Jours au développement de la panicule	Jours à la floraison	Poids de la panicule
SM 100	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	34	18	52,4 ± 0,3	20,0 ± 0,5
SM 90	ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	34	20	54,2 ± 0,3	20,3 ± 0,6
SM 60	ma ₁ ma ₂ ma ₃ ma ₄	34	21	55,3 ± 0,2	23,2 ± 0,7
SM 80	ma ₁ ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	34	23	56,7 ± 0,4	19,3 ± 0,6
60 M	Ma ₁ ma ₂ ma ₃ Ma ₄	36	28	64,6 ± 0,4	34,3 ± 1,7
80 M	Ma ₁ ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	40	29	69,0 ± 0,2	30,8 ± 0,9
90 M	Ma ₁ Ma ₂ ma ₃ Ma ₄	61	26	87,0 ± 0,6	40,3 ± 1,1
100 M	Ma ₁ Ma ₂ Ma ₃ Ma ₄	61	30	90,5 ± 0,6	28,2 ± 0,6

Tableau 3.7: Allèles aux loci portant les gènes de maturité (Source : Quinby 1967).

Locus 1, Ma₁	Locus 3, Ma₃
Ma ₁ ^M - de Milo et chez Fargo	Ma ₃ ^M - de Milo
Ma ₁ ^H - de Hegari et chez Early Hegari	Ma ₃ ^H - de Hegari et chez Combine Bonita
ma ₁ ^M - de Milo	Ma ₃ ^{B1} - de Texas Blackhull Kafir
ma ₁ ^F - de Bonita et Combine Bonita; d'origine Feterita ou Blackhull Kafir	Ma ₃ ^{B2} - de Redland mais d'origine Black-hull Kafir CI 71
ma ₁ ^{B1} - de Texas Blackhull Kafir	Ma ₃ ^P - de Pink Kafir CI 432 et chez Kalo et Early Kalo
ma ₁ ^C - de Combine Kafir-60 mais d'origine inconnue	Ma ₃ ^K - de Red Kafir PI 19492
ma ₁ ^{B2} - de Redlan mais d'origine Black-hull Kafir CI 71	Ma ₃ ^{P2} - de Pink Kafir PI 19742
ma ₁ ^{P1} - de Pink Kafir CI 432, et chez Kalo et Early Kalo	Ma ₃ ^{B3} - de Caprock; d'origine Dawn Kafir
ma ₁ ^K - de Red Kafir PI 19492	Ma ₃ ^{B4} - de Blackhull Kafir et chez Fargo
ma ₁ ^{P2} - de Pink Kafir PI 19742	ma ₃ ^M - de Sooner Milo
ma ₁ ^L - de Combine 7078 et peut-être chez T ^x 414 mais d'origine inconnue	ma ₃ ^B - de Ryer Milo
ma ₁ ^{B3} - de Caprock; d'origine Dawn Kafir	ma ₃ ^H - de Early Hegari
ma ₁ ^D - de Durra PI 54484	ma ₃ ^F - de Bonita
	ma ₃ ^D - de Durra PI 54484
	ma ₃ ^C - de Combine Kafir 60
	ma ₃ ^L - de Combine 7078
Locus 2, Ma₂	Locus 4, Ma₄
Ma ₂ ^M - de Miiio	Ma ₄ ^M - de Milo et chez Combine Hegari
Ma ₂ ^H - de Hegari	Ma ₄ ^F - de Bonita mais d'origine Feterita ou Blackhull Kafir
Ma ₂ ^F - de Bonita mais d'origine Feterita ou Blackhull Kafir CI 71	Ma ₄ ^C - de Combine Kafir 60
Ma ₂ ^{B1} - de Texas Blackhull Kafir	Ma ₄ ^{B1} - de Texas Blackhull Kafir
Ma ₂ ^{B2} - de Redlan mais d'origine Black-hull Kafir CI 71	Ma ₄ ^{B2} - de Redlan mais d'origine Milo ou Blackhull Kafir CI 71
Ma ₂ ^C - de Combine Kafir 60	Ma ₄ ^{P1} - de Pink Kafir CI 432
Ma ₂ ^K - de Red Kafir PI 19492	Ma ₄ ^K - de Red Kafir PI 19492
Ma ₂ ^{P2} - de Pink Kafir PI 19742	Ma ₄ ^{P2} - de Pink Kafir PI 19742
Ma ₂ ^{P1} - de Pink Kafir CI 432 et peut-être chez Early Kalo	Ma ₄ ^L - de Combine 7078
Ma ₂ ^E - de Combine 7078	Ma ₄ ^{B3} - de Caprock et de soit Milo soit Dawn Kafir
Ma ₂ ^{B3} - de Caprock mais d'origine Dawn Kafir	Ma ₄ ^D - de Durra PI 54484
Ma ₂ ^D - de Durra, PI 54484	ma ₄ ^H - de Hegari et chez Early Hegari
ma ₂ ^M - de Milo et chez Fargo et Kalo	

et luxuriantes, le temps est froid et les plantes sont généralement détruites par la gelée.

Le rapport entre le concept de jour court et la réaction à la photopériode peut s'avérer très complexe à décrire. Au cours des mois d'été, les jours sont plus longs en zone tempérée que sous les tropiques, l'inverse est vrai en hiver alors que la longueur du jour tend à être la même (environ 12 h) aux équinoxes de printemps et d'automne. Chez les variétés adaptées à une croissance d'été en zone tempérée la photopériode critique est en général plus élevée que sous les tropiques, c'est-à-dire que

les variétés tempérées fleuriront à des longueurs de jour supérieures à celles des variétés tropicales. Par exemple, une variété tropicale peut fleurir pendant des jours de moins de 12 h, pendant lesquels les variétés de zone tempérée pourront également fleurir.

Lorsque les plantes sont transférées en zone tempérée, les longueurs de jour peuvent excéder 13 h. Cette durée est supérieure à celle du jour sous les tropiques et dépasse la période critique du type tropical—celui-ci demeure donc à l'état végétatif. Le type de zone tempérée peut avoir une photopéri-

ode critique de 13,5 heures; ainsi, une longueur de jour de 13 h sera encore plus courte que cette période critique et la variété pourra fleurir.

La Figure 3.32 présente un groupe de lignes tracées le long d'un axe de la durée de jour, chaque ligne représentant la photopériode critique d'une variété. Lorsque la longueur de jour est supérieure à la photopériode critique, la variété demeurera végétative; lorsque la longueur de jour est plus courte (en-dessous de la ligne), l'induction florale pourra avoir lieu.

La durée de jour change, non seulement, lorsque l'on s'éloigne de l'équateur, au nord ou au sud, mais également selon l'époque de l'année. Dans ce dernier cas, le changement de longueur de jour a essentiellement le même effet sur l'initiation florale que la latitude (quelques différences dues à la température peuvent apparaître). On peut représenter cet effet par un graphique. Miller et al. ont pratiqué des semis mensuels de variétés de chacune de ces catégories à Porto-Rico à 17,5° de latitude et trouvé le nombre de jours du semis à la floraison présenté

dans la Figure 3.33 et le Tableau 3.8. Ces données montrent que :

Catégorie I : La floraison a été retardée jusqu'à ce que les semis aient été effectués le 12 septembre environ. La floraison a eu lieu début décembre et le nombre de jours jusqu'à la floraison a été essentiellement le même pour les semis de septembre, octobre et novembre.

Catégorie II : La floraison a été plus retardée pour les semis de février à mai compris que pour ceux de janvier. Pour les semis effectués en août, la floraison a été légèrement plus tardive que pour les semis de septembre et octobre.

Catégorie IIIa : La floraison a été retardée pour les semis de mars à août compris. Le nombre de jours jusqu'à la floraison a été réduit pour les semis de septembre et octobre.

Catégorie IIIb : Même comportement de la floraison

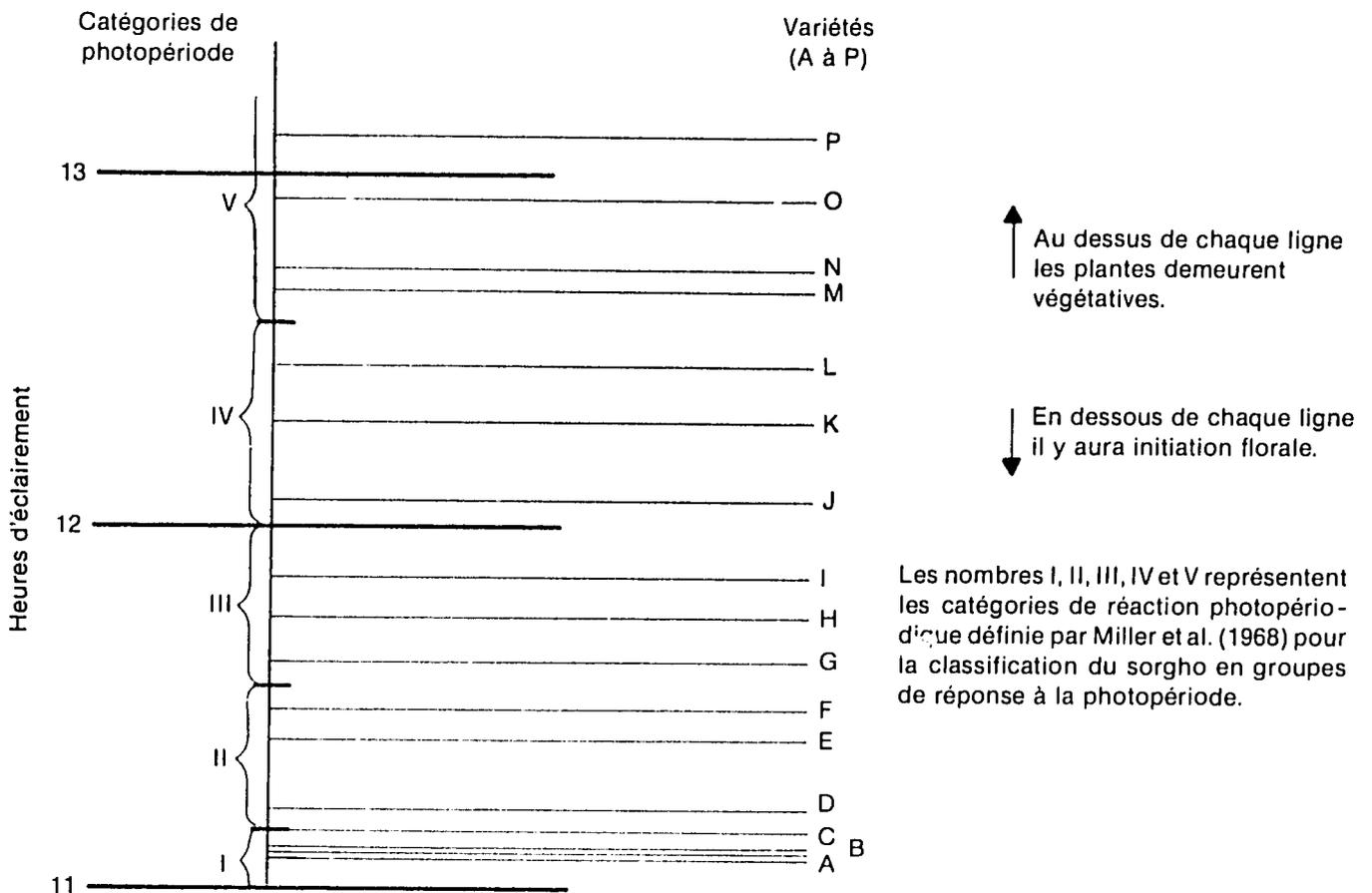


Figure 3.32: Echelle indiquant la réaction photopériodique par rapport au nombre d'heures d'éclairage.

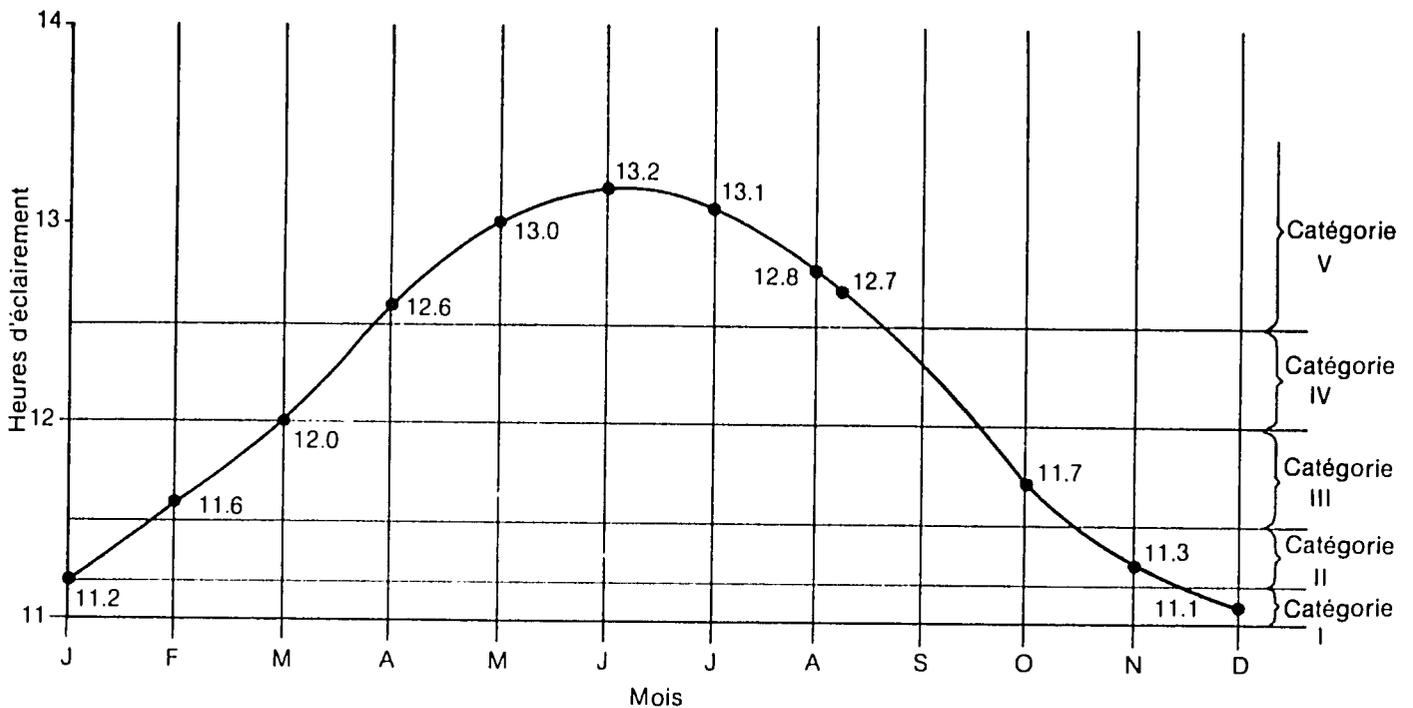


Figure 3.33: Courbe du nombre d'heures d'éclairement pour chaque mois de l'année à 17,5° N. Les catégories de photopériodes se chevauchent sur cette courbe.

que pour IIIa, sauf une augmentation plus ou moins uniforme du nombre de jours du semis à la floraison.

Catégorie IIIc : Même schéma de floraison que pour IIIa, sauf que le nombre de jours jusqu'à la floraison a été inférieur; en particulier pour les semis de mars

à mai compris, pour lesquels il a été nettement inférieur à IIIa et IIIb.

Catégorie IV : La floraison a été retardée jusqu'au semis d'avril plutôt que de mars comme pour IIIa, b et c; le nombre de jours jusqu'à la floraison a été quelque peu inférieur par rapport à la catégorie IIIc.

Tableau 3.8: Nombre de jours approximatif du semis à la floraison (anthèse) à 17,5° N de latitude.

Date de semis*	Longueur moyenne du jour(h)	Catégorie						
		I	II	IIIa	IIIb	IIIc	IV	V
--- Jours à la floraison ---								
Janvier	11,2	310	155	75	110	85	70	75
Février	11,6	270	280	55	110	75	70	60
Mars	12,0	250	240	220	225	100	75	65
Avril	12,6	210	200	185	195	105	110	63
Mai	13,0	185	170	155	180	105	112	70
Juin	13,2	155	140	125	150	90	100	60
Juillet	13,1	120	125	95	115	80	80	60
Août	12,8	100	105	75	95	75	70	63
Sept.	12,2	82	100	55	75	60	65	58
Oct.	11,7	80	100	50	70	50	60	58
Nov.	11,3	82	105	60	80	60	60	60
Déc.	11,1	120	130	100	110	85	75	70

*Semis effectués le 12e jour environ de chaque mois.

Catégorie V : Le nombre de jours jusqu'à la floraison a été plus ou moins le même pour tous les semis effectués dans l'année. En d'autres termes, la photopériode critique n'a jamais été atteinte. Pour des semis pratiqués à une latitude plus septentrionale, il faut subdiviser la catégorie V comme pour la catégorie III, c'est-à-dire que certaines plantes contrairement à d'autres peuvent atteindre une photopériode critique.

Dans l'hémisphère Nord, pour les entrées semées dans les parcelles de croisement, l'échelonnement pour parvenir à une coïncidence de la floraison entre les parents sera moins important pour les semis de septembre, octobre et début novembre que pour ceux effectués à une autre période de l'année.

Les semis peuvent être réussis en janvier mais après début février (et plus particulièrement après début mars) la floraison sera très retardée chez cer-

tains individus des parcelles de croisement, rendant impossible tout croisement. En général, il est impossible d'utiliser en zones tempérées les lignées à photopériode critique d'environ 12 h ou moins, de même ne peut-on les semer en parcelles de sélection certains mois de l'année (mars-avril) en région tropicale, sans que soit réduite artificiellement la durée de jour pour l'induction de la floraison. Il est évident que toutes les lignées florissant normalement en pépinière au Nord fleuriront normalement dans une pépinière au Sud; l'inverse ne se vérifie pas—certaines lignées peuvent être très tardives ou demeurer à l'état végétatif dans une pépinière au Nord.

Plusieurs lignées Milo à gènes de la maturité connus ont été introduites dans des semis mensuels à Porto-Rico. Les lignées 100 M et 90 M ont été les seules à présenter un effet de photopériode (c'est-à-dire qu'elles ont été les seules dont la photopériode critique a été dépassée). Ces deux entrées sont dominantes aux loci Ma_1 et Ma_2 . Les gènes Ma_3 et Ma_4 n'ont aucun effet sur la réaction photopériodique à 17,5°N. Ils ont un effet au Texas (environ 34°N), indiquant un effet de la latitude (longueur de jour) et une réponse de ces plantes aux photopériodes critiques plus importantes aux latitudes plus septentrionales.

Pour le sélectionneur, pouvoir apprécier la réaction photopériodique du sorgho est très important lorsqu'il établit ses parcelles de croisement et prête assistance aux producteurs de semences hybrides.

Génétique de la hauteur

Chez le sorgho quatre loci portent des gènes responsables de la hauteur de la plante; on leur attribue les symboles Dw_1 , Dw_2 , Dw_3 et Dw_4 . La haute taille est partiellement dominante par rapport au nanisme. L'effet du nanisme des gènes récessifs ($dwdw$) à l'un quelconque de ces quatre loci est de nature brachytique, (c'est-à-dire un nanisme caractérisé par une réduction de la longueur des entre-noeuds, mais non de celle du pédoncule, non plus que de la taille de la panicule et du nombre de feuilles, la maturité demeurant inchangée). Le type nain zéro (dominant $[DW-]$ à tous les loci) peut atteindre une hauteur de 4 m. Le changement de quatre à trois gènes dominants peut entraîner un changement de hauteur de 50 cm ou plus. Si les gènes situés à un de ces loci ou plus sont récessifs, alors la différence de hauteur résultant de l'état récessif à un locus supplémentaire peut avoir un effet moins important pour la réduction de la hau-

teur de la plante. La différence entre un type 3-dwarf (gènes récessifs $dwdw$ à 3 loci) et un type 4-dwarf peut n'être que de 10 ou 15 cm.

On observe des variations de hauteur entre différentes variétés de même génotype qui pense-t-on serait dues à une série d'allèles occupant un locus donné et non à des facteurs modificateurs situés à d'autres loci. On constate une instabilité au locus Dw_3 , un allèle dw_3 est muté en allèle dominant à un taux élevé (une mutation chez 1209 gamètes). Aussi certains champs de sorgho peuvent-ils présenter un aspect "hétéroclite" sous l'effet d'une plus grande fréquence de plantes hautes. On a également observé une certaine instabilité au locus Dw_4 mais non à Dw_1 ou Dw_2 .

Le Tableau 3.9 présente la hauteur et le génotype d'un certain nombre de variétés de sorgho.

Il est possible de produire des hybrides de haute taille à partir de parents plus petits en utilisant des facteurs complémentaires. Par exemple, un hybride 2-dwarf ($dw_1Dw_2Dw_3Dw_4$) peut être obtenu avec deux parents 3-dwarf ($dw_1Dw_2dw_3dw_4$ et $dw_1dw_2Dw_3dw_4$).

Autres caractères génétiques intéressants

La plupart des informations présentées ici sont tirées des travaux de Doggett (1970) et Wall et Ross (1970).

Stérilité mâle—génétique

La stérilité mâle est gouvernée par des gènes récessifs simples. Parmi ceux-ci le plus utilisé est ms_3 parce que sa manifestation de la stérilité mâle est bonne et qu'il est stable dans de nombreux milieux. La stérilité mâle due à ms_7 à l'état récessif s'est révélée utile; de même que celle due au gène de l'absence d'anthère (al). La stérilité mâle génétique est surtout utilisée chez les composites pour renforcer le niveau de combinaisons.

Stérilité mâle—cytoplasmique

Chez le sorgho, la stérilité mâle cytoplasmique rend possible la production commerciale de semences hybrides. Cette stérilité est due à l'association du cytoplasme Milo avec des gènes de stérilité

Tableau 3.9: Hauteur et nombres de jours jusqu'à la floraison de certaines variétés de sorgho (données de 1949 de Chillicothe, Texas, Etats-Unis).

N° de série	Cultivar	Génotype	Jours à la floraison	Hauteur à la feuille paniculaire (cm)
Récessif pour un gène :				
PI 54484	Durra	Dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	62	159
PI 54488	Summac	Dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	75	166
Agros 250	Shallu	Dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	91	157
FC 6601	Spur Feterita	Dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	73	120
SA 1170	Tall White Sooner Milo	Dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	62	127
SA 1295-89-2	Standard Yellow Milo	Dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	89	173
CI 556	Standard Broomcorn	Dw ₁ Dw ₂ dw ₃ Dw ₄	74	207
Récessif pour deux gènes :				
FC 8962	Texas Blackhull Kafir	Dw ₁ Dw ₂ dw ₃ dw ₄	74	100
SA 79	Bonita	Dw ₁ dw ₂ Dw ₃ dw ₄	72	82
SA 281	Early Hegari	Dw ₁ dw ₂ Dw ₃ dw ₄	87	105
PI 34911	Hegari	Dw ₁ dw ₂ Dw ₃ dw ₄	96	126
SA 5155-31-29	Dwarf White Sooner Milo	dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	61	94
SA 367	Dwarf Yellow Milo	dw ₁ Dw ₂ Dw ₃ dw ₄	85	106
CI 243	Acme Broomcorn	Dw ₁ dw ₂ dw ₃ Dw ₄	73	112
PI 30204	Japanese Dwarf Broomcorn	dw ₁ Dw ₂ dw ₃ Dw ₄	75	92
Récessif pour trois gènes :				
SA 5330	Martin	dw ₁ Dw ₂ dw ₃ dw ₄	63	61
SA 7005	Plainsman	dw ₁ Dw ₂ dw ₃ dw ₄	64	52
SA 1713-1	Double Dwarf White Sooner Milo	dw ₁ dw ₂ Dw ₃ dw ₄	66	53
SA 292	Double Dwarf Yellow Milo	dw ₁ dw ₂ Dw ₃ dw ₄	83	60

Source : D'après Quinby et Karper 1954

présents dans les kafirs et autres variétés. La génétique n'en n'est pas totalement claire mais deux gènes (msc_1 et msc_2 , récessifs en présence du cytoplasme Milo) sont à l'origine de la stérilité mâle. D'autres facteurs influencent la réaction de stérilité, qui ont peut-être un effet modificateur sur le niveau de fertilité partielle. Une méthode de sélection vis-à-vis de ces facteurs modificateurs est indiquée dans le chapitre sur la création de nouveaux parents femelles mâle-stériles (p. 125).

Résistance aux maladies

Charbon couvert (*Sphacelotheca sorghi*)—trois races de cette maladie sont connues, la résistance à

chacune d'entre elle étant contrôlée par un gène à dominance incomplète Ss_1 , Ss_2 et Ss_3 .

Charbon de la panicule (*Sphacelotheca reiliana*)—chez la plupart des variétés la résistance est dominante par rapport à la sensibilité.

Maladie du Milo (*Periconia circinata*)—la réaction à cette maladie est gouvernée par un locus unique (Pc). La sensibilité est partiellement dominante, la F_1 est intermédiaire.

Anthraxose (*Colletotrichum graminicola*)—la sensibilité des feuilles est régie par un gène simple récessif (I). La sensibilité à la phase pourriture des tiges de cet organisme est gouvernée par le récessif simple (Is).

La rouille (*Puccinia purpurea*)—la sensibilité est contrôlée par un gène récessif simple (pu).

L'hélmintosporiose (*Exserohilum turcicum*)—la plupart des sorghos-grains sont résistants. La sensibilité du "sudangrass" est héritée comme gène simple dominant.

La pourriture charbonneuse (*Macrophomina phaseolina*)—l'hérédité de la résistance est reconnue mais n'a pas été encore totalement analysée; apparemment plus d'un gène est impliqué.

Le mildiou (*Peronosclerospora sorghi*)—la résistance est héritée comme caractère récessif. Un certain nombre de types, dont la plupart des kafirs, sont résistants. Le "sudangrass" est sensible.

Virus de la mosaïque nanisante du maïs : la résistance est dominante, la génétique n'est pas connue.

Résistance aux insectes

La génétique de la résistance aux insectes n'est pas totalement éclaircie. Il semble qu'elle soit en général multigénétique, et que la résistance totale soit rare.

Cécidomyie (*Contarinia sorghicola*)—des lignées récemment identifiées à la station du Texas du Programme de Conversion USDA présentent un degré de résistance élevé.

Mouche des pousses du sorgho (*Atherigona soccata*)—le niveau de résistance constaté est faible mais utile. On observe apparemment trois aspects : (1) non préférence pour la ponte; (2) antibiose (c'est-à-dire résistance de la plante par elle-même) et (3) résistance par récupération (des talles se forment après la destruction de la tige principale régénérant la culture). On a récemment découvert que la présence de trichomes (micropilosité à la face inférieure des feuilles) contribue à la non préférence pour le ponte. Cette présence de trichomes est régie par un seul gène récessif.

Borer ponctué du sorgho (*Chilo partellus*)—on constate, en général une variation de la résistance à un niveau relativement faible.

Insectes des grains stockés—les petits grains cornés se conservent mieux que les gros grains tendres.

Tiges dures et sucrées

Les tiges dures sont gouvernées par un seul gène dominant D, le caractère succulent est récessif. Les tiges dures possèdent une nervure foliaire blanche, les tiges succulentes une nervure foliaire vert mat (peut-être avec une petite bande blanche au milieu). Une tige de goût insipide est régie par un seul gène dominant, X; le caractère sucré est récessif. Il n'existe apparemment aucun linkage entre les loci portant les gènes responsables des caractères dur-succulent et insipide-sucré. Il n'existe aucune preuve évidente en faveur des tiges sucrées ou non sucrées pour le fourrage, le bétail consommant également les deux.

Teneur en HCN

Le sorgho produit du HCN pouvant se révéler dangereux pour l'alimentation du bétail. Le problème est particulièrement aigu pour les plantules ou les cultures de repousse, il est aggravé par la sécheresse et les basses températures. Il semble que l'hérédité soit gouvernée par plus d'un facteur et dans de nombreux cas la faible teneur en HCN présente une dominance partielle.

Couleurs de la plante

Les gènes régissant la couleur des plantes influencent les parties vertes de la plante—feuilles, tiges, glumes. Le gène P- donne une couleur pourpre et les plantes récessives (pp) sont de couleur tan. La teinte de la pigmentation pourpre est influencée par les allèles situés au locus Q, la couleur noir violacé est régie par l'allèle q et la couleur zinzolin par les allèles Q ou q'.

Deux loci (P et Q) contrôlent la couleur des glumes. Les glumes noires et rouges sont dominantes (P-) et les glumes de couleur acajou ou sienne récessives (pp). Des inhibiteurs semblent être à l'origine de la décoloration des glumes chez certaines plantes.

Un pigment rouge apparaît dans les feuilles et les gaines foliaires mortes des variétés à graines rouges mais non pas chez les variétés à graines blanches. Les gènes R-yy sont responsables de la couleur rouge du péricarpe et de cet effet sur les feuilles mortes. Le gène Q influence la couleur de la sève des plantes (les taches sur les variétés à graines blanches sont rouges chez les plantes à pigmen-

tion rouge et noires violacées chez les plantes à pigmentation pourpre).

La couleur des graines est déterminée par la pigmentation du péricarpe, du testa et de l'endosperme. La couleur de ces tissus est régie par différents couples de gènes :

- Ce: couleur de la plante présente dans le testa et l'intérieur de la glume (manifestation de Q).
- B₁, B₂: donnent un testa brun (lorsque les deux gènes sont en présence de Ce); B₁b₂, b₁B₂, et Ce B₁ B₂ donnent des testas sans couleur.
- S₁: responsable de la couleur du testa, donne en présence de B₁ et B₂ un épicarpe (partie externe du péricarpe) de couleur brune.
- Y: couleur jaune de l'épicarpe (état rrY-) contre couleur blanche (état yy).
- R: épicarpe rouge en présence de Y, sinon jaune ou blanc.
- I: intensifie la couleur du péricarpe (épicarpe); Bw et Bw₂ sont des facteurs complémentaires; on constate en présence des deux une légère teinte brune sur les graines.
- M: donne une légère teinte de couleur sur les graines.
- Pb: provoque des taches pourpres sur les graines.
- Pt: provoque l'extrémité pourpre des grains.

Martin (1959) a indiqué le génotype de plusieurs grains de couleur différente (Tab. 3.10).

Caractères de l'endosperme

Wx (cireux) donne un amidon dont l'équilibre amylose-amylopectine est normal; lorsqu'il est homozygote, l'allèle récessif wx donne un endosperme cireux, c'est-à-dire une prédominance de l'amylopectine.

Su (sucré) donne une teneur en sucre normale alors que le récessif (su) provoque une teneur en sucre élevée. Généralement les grains se rétractent et les tiges sont sucrées.

Z est à l'origine d'une plus grande dureté de l'endosperme que le récessif homozygote z, qui donne des grains dont la texture rappelle celle de la craie.

On ne connaît pas très bien le pigment jaune de l'endosperme mais il semble que plus d'un gène majeur ou modificateur soit impliqué. La couleur jaune est due à deux pigments, la xanthophylle et le carotène.

Bibliographie

Crow, J.F. et Kimura, M. 1970. Introduction to population genetics theory. New York, NY (Etats-Unis) : Harper & Row. 591 pages.

Doggett, H. 1970. Sorghum. London (Royaume-Uni) : Longmans. 403 pages.

Falconer, D.S. 1964. Introduction to quantitative genetics. New York, NY (Etats-Unis) : Ronald Press. 365 pages.

Tableau 3.10: Génotype des couleurs des graines de sorgho.

Variété	Couleur de la graine	Epicarpe	Testa	Couleur testa
Blackhull Kafir	Blanc	RR yy II	b ₁ b ₁ B ₂ B ₂	SS
White Milo	Blanc	RR yy ii	b ₁ b ₁ B ₂ B ₂	SS
Club Kafir	Blanc	RR yy II	b ₁ b ₁ B ₂ B ₂	ss
Shallu	Blanc	RR yy ii	B ₁ B ₁ b ₂ B ₂	SS
Feterita	Blanc bleuté	RR yy ii	B ₁ B ₁ B ₂ B ₂	ss
Yellow Milo	Rose saumon	RR YY ii	b ₁ b ₁ B ₂ B ₂	SS
Bonar Durra	Jaune citron	rr YY ii	b ₁ b ₁ B ₂ B ₂	SS
Red Kafir	Rouge	RR YY II	b ₁ b ₁ B ₂ B ₂	SS
Sourless Sorgho	Chamois	RR yy ii	B ₁ B ₁ B ₂ B ₂	SS
Schrock	Brun	RR yy ii	B ₁ B ₁ B ₂ B ₂	SS
Darso	Brun rougeâtre	RR YY II	B ₁ B ₁ B ₂ B ₂	SS

Source : Martin 1959.

Johannsen, W. 1903. Über Erbllichkeit in Populationen und in reinen Linien. Jena : Fischer.

Li, C.C. 1958. Population genetics. Chicago, IL (Etats-Unis) : University of Chicago Press. 366 pages.

Martin, J.H. 1959. Sorghum and pearl millet. Pages 565-589 in Handbuck der Pflanzenziichtung, Vol 2. Berlin : Paul Parey.

Mather, Wharton B. 1963. Principles of quantitative genetics. Minneapolis, MN (Etats-Unis) : Burgess Publishing Co.

Miller, F.R., Barnes, D.K. et Cruzado, H.J. 1968. Effect of tropical photoperiod on the growth of sorghum when grown in 12 monthly plantings. *Crop Science* 8(4) : 499-502.

Nilsson-Ehle, H. 1912. Kreuzunguntersuchungen an Hafer und Weizen. Lunds Univ.

Quinby, J.R. 1967. The maturity genes of sorghum. *Advances in Agronomy* 19:267-305.

Quinby, J.R. 1974. Sorghum improvement and the genetics of growth. College Station, TX (Etats-Unis) : Texas A&M University Press. 108 pages.

Wall, J.S. et Ross, W.M. 1970. Sorghum production and utilization. Westport, CT (Etats-Unis) : AVI. 702 pages.

Quatrième partie

Amélioration du sorgho

Procédés et méthodes

Cette partie concerne les aspects pratiques de l'amélioration génétique. Comme indiqué au chapitre précédent l'amélioration consiste en une évolution contrôlée permettant de modifier rapidement les plantes dans la direction qui intéresse le chercheur. L'une des bases de la sélection repose sur l'existence d'une variabilité. Des gains immédiats sont possibles grâce à l'hybridation, mais la perte de variabilité est en général rapide, les accroissements de rendement atteignant un plateau. C'est ainsi que le sélectionneur ne doit pas seulement s'attacher à progresser dans les recherches sur les caractères qui l'intéressent. Il faut aussi qu'il veille à conserver la variabilité. Les introductions à partir de collections et d'autres programmes de sélection, et la mise en oeuvre d'agents mutagènes sont essentiels pour accroître cette variabilité. Celle-ci peut aussi être amplifiée grâce à différents types de croisements.

Les concepts généraux examinés dans cette partie comprennent :

- le rôle de la collection et de l'introduction : les méthodes de base pour conserver et accroître la variabilité à la disposition du sélectionneur;
- la nomenclature des pedigrees, en liaison avec les programmes de croisement et de sélection. On décrit plusieurs systèmes, allant de la sélection en "une station, une saison", à ceux qui se déroulent en plusieurs endroits et avec plus d'une saison par an. De tels systèmes sont utiles dans le cas où un pays souhaite mettre en oeuvre un programme d'amélioration coordonné;
- l'utilisation commerciale des hybrides F_1 , impliquant la mise en oeuvre de la stérilité cytoplasmique mâle;
- l'attribution de noms aux variétés et aux hybrides;
- l'accroissement de la variabilité par des croisements et des rétrocroisements, suivis d'une sélection. Il arrive souvent que des croisements entre des introductions bien adaptées et des types locaux donnent des résultats valables pour sélectionner des lignées nouvelles ou des parents pour de futurs croisements. Les procédés de croisements sont décrits;
- la création de composites et les procédés de croisement. Ceux-ci mettent le sélectionneur en mesure d'utiliser certaines des techniques mises en oeuvre pour les plantes surtout allogames;
- la résistance aux insectes et aux maladies;
- la sélection axée sur la qualité nutritive.

Quelques notions de travail de base

L'un des buts essentiels de cet ouvrage est de fournir aux jeunes chercheurs et aux techniciens de terrain, notamment les sélectionneurs, une perspective générale de l'amélioration du sorgho. Il est souhaitable que ces lecteurs considèrent comme but essentiel l'amélioration de cette culture et non simplement la création d'un hybride ou d'une variété nouvelle. Le sélectionneur n'est qu'un des membres d'une équipe pluridisciplinaire. La résistance aux insectes ou aux maladies, la politique économique, les problèmes sociaux, par exemple conditionnent souvent l'échec ou le succès d'un programme.

Les variétés traditionnelles de sorgho ont été acceptées pour les diverses utilisations présentant un intérêt pour les usagers. L'idée d'un changement de variétés hurte souvent, même les chercheurs, car ils craignent que ce changement ne soit pas admis. Il faut changer d'attitude si l'on veut progresser. Si le paysan profite d'une nouvelle variété ou d'une nouvelle technique, il est probable que le changement se produira. Le chercheur doit toujours être prêt à explorer de nouvelles voies, de façon à ne pas "bloquer" le paysan sur les traditions anciennes.

Il y a eu quelques tentatives d'amélioration par introduction de variétés ou d'hybrides sans sélection par des programmes locaux destinés à augmenter la production. Les chances de succès sont faibles car une bonne adaptation exige en général la sélection sur place. Il n'est pas rare que l'introduction et l'évaluation demandent plus de temps qu'il n'en aurait fallu si l'on avait débuté par une sélection sur place.

Au début d'un nouveau programme, dans un milieu traditionnel où l'on cultive des variétés agraires locales, à base génétique relativement restreinte, la mise en évidence de supériorités agronomiques n'est en général ni difficile ni longue (3 à 5 ans). Ce n'est que le début de l'affaire. Dès que des variétés et des hybrides nouveaux (impliquant des parents introduits de l'étranger, et des modifications des techniques de culture) sont vulgarisés auprès des paysans, les problèmes de parasitisme et de maladies augmentent souvent. En réponse à cette tendance, le programme doit souvent être réorienté, au bout de 6 à 12 ans, vers la sélection pour la résistance aux insectes, aux maladies, à sécheresse au *Striga*, et vers l'amélioration de la qualité du grain. La solution de ces problèmes exige

une organisation des recherches, laquelle doit être mise en place dès le début du programme d'amélioration d'une culture. Notamment, s'il s'agit de s'écarter d'une agriculture traditionnelle bien établie.

La variabilité des sorghos traditionnellement cultivés est souvent faible dans la plupart des régions, c'est-à-dire que la base génétique est restreinte.

Les sélections à partir de collections internes à une région, ou à partir de croisements réalisés au sein de celles-ci n'aboutissent en général qu'à des gains de rendements faibles. Les progrès ultérieurs, dus à la manipulation de variétés locales, phénotypiquement semblables, ne peuvent avoir que des résultats modestes.

Il est courant que les variétés traditionnellement cultivées soient de haute taille, quelquefois tardives, ne supportant pas une forte densité au champ, et versent. Leur réaction à l'amélioration des pratiques culturales peut être décevante en ce qui concerne l'augmentation du rendement et la verse augmenter. Certaines variétés peuvent avoir une meilleure réaction que d'autres à ces pratiques, et le sélectionneur leur donnera la préférence.

L'une des conditions importantes pour l'amélioration du sorgho est de disposer d'une gamme de types variétaux, de sorte que le chercheur ait un choix plus large. La variabilité génétique, dans les programmes de croisements du sorgho, peut être accrue de plusieurs façons : (1) recours à la collection mondiale; (2) requête de semences d'autres programmes; et (3) par des processus d'hybridation, tels que la création de composites, conservant un niveau élevée de variabilité.

Le succès d'un généticien est en général fonction de sa connaissance de la plante sur laquelle il travaille. Au début d'un programme, ou lorsque les génotypes sont divers, il est plus important d'avoir en compte de nombreuses variétés, avec peu d'observations, que d'essayer de décrire en détail un petit nombre de variétés.

Le progrès le plus rapide vers la création de lignées améliorées peut être réalisé par sélection généalogique au sein d'introductions nouvelles (acquisitions). Au début, il faudra rassembler une vaste gamme de lignées originaires de nombreuses parties du monde. La sélection initiale sera visuelle, puis, après quelques générations, par essais de rendements, ce qui réduit rapidement le nombre des variétés en jeu et la variation génétique sur laquelle est basée la sélection.

Les souches de base en provenance d'autres programmes de sélection sont, le plus souvent, d'un intérêt immédiat plus grand (d'un point de vue agro-

nomique général) que l'acquisition de variétés non sélectionnées. Il devrait être possible d'échanger librement du matériel végétal entre chercheurs dans le monde entier (les succès de la sélection sont dus à l'utilisation, et non à l'acquisition ou à la possession du matériel végétal).

Il est possible de maintenir la variabilité génétique par des croisements entre des lignées choisies. La ségrégation se produit dans la F_2 et les générations ultérieures et la sélection généalogique de lignées supérieures est alors efficace. La variabilité génétique peut également être maintenue dans les composites. On introduit souvent une stérilité génétique dans de tels composites pour accroître le niveau d'allogamie et faciliter ainsi l'usage des méthodes de croisement des populations. Le choix des lignées pour ces composites est basé sur des critères tels que le rendement, la résistance aux maladies, la tolérance à la sécheresse, etc. Une fois choisies, ces lignées sont croisées, et rétrocroisées, avec un donneur de stérilité génétique.

La sélection généalogique dans les lignées locales ou introduites est très utile pour créer rapidement des variétés élite. La sélection dans les générations successives d'un croisement permet d'alimenter la collection de travail pour l'hybridation. La création de composites demande du temps mais fournit une source permanente de matériel nouveau pour les croisements. Ceux-ci peuvent être améliorés avec le temps et peuvent ainsi fournir des lignées à plus haut rendement. Il est clair que tous ces processus contribuent à la réussite d'un programme d'amélioration et doivent être employés simultanément. L'expérience a montré que les variétés de sorgho qui rendent bien en milieu très fertile se comportent aussi relativement mieux dans de plus mauvaises conditions. L'interaction variété-sécheresse est plus importante et demande à être évaluée dans ces conditions. Les différences de rendement entre variétés sont plus fortes à des niveaux élevés (6 à 8 t/ha) qu'à des niveaux plus faibles; il est donc plus facile de sélectionner aux niveaux élevés. Une différence intéressante de productivité peut même disparaître à des niveaux de rendement très bas. Il est recommandé de conduire les parcelles de sélection à un niveau de fertilité élevé, et dans de bonnes conditions de culture, pour favoriser les possibilités de sélection.

Cependant, les essais de rendements doivent être cultivés selon les techniques vulgarisées et dans les mêmes conditions hydriques que celles des paysans.

La protection contre les insectes, en parcelles de sélection, doit rester raisonnable. Il faut éviter la

surprotection par des traitements antiéconomiques, il ne faut pas non plus risquer la destruction de l'essai par manque de protection. Il y a lieu d'orienter la sélection vers la résistance aux insectes, si possible, et il ne faut pas utiliser les insecticides au point de perdre cette possibilité.

Des niveaux corrects d'humidité du sol et de fertilisation permettent la sélection de variétés à haut rendement et réagissant bien, pendant qu'une protection modeste permet de sélectionner pour la résistance aux insectes présents dans la région. Ces considérations sur l'humidité du sol, la fertilisation, et la protection des plantes peuvent paraître contradictoires, mais on notera qu'elles sont toutes dirigées vers l'accentuation des différences entre les lignées en comparaison.

L'agriculture, dans de nombreux pays en voie de développement, surtout ceux des tropiques, pourrait être beaucoup plus intensive. On devrait penser aux variétés à cycle court s'intégrant à des successions culturales. Les problèmes soulevés par l'utilisation de variétés à cycle court méritent d'être résolus si l'agriculture peut ainsi devenir plus intensive. La notion essentielle est alors le rendement par unité de surface et par unité de temps et non plus seulement le rendement par unité de surface.

Les progrès les plus rapides sont réalisés si le sélectionneur fait partie d'une équipe comprenant un entomologiste, un physiologiste, un pathologiste, un agronome etc. (Le travail d'équipe crée l'esprit d'équipe; le renom de chacun croît en fonction des résultats obtenus par l'équipe).

Les collections mondiales de sorgho et de mil

Introduction

Il existe de vastes collections de sorghos et de mils. En 1957, K.O. Rachie, appelé à participer à l'Indian Agricultural Program de la Fondation Rockefeller, y apporta une collection de sorghos du Mexique. De 1959 à 1962, il organisa la collecte de sorghos et de mils en Inde. Il reçut aussi des collections réunies par d'autres sélectionneurs (essentiellement en Afrique et aux Etats-Unis). Le rassemblement des collections existantes (Tab. 4.1) s'amplifia par la suite grâce aux demandes formulées par le canal de la National Science Foundation des Etats-Unis. Ces collections s'accroissent encore. Elles sont actuellement entretenues activement aux Etats-Unis

(Université du Purdue et United States Department of Agriculture (USDA)) et au Centre ICRISAT. Les semences sont conservées à long terme dans les magasins spéciaux de Fort Collins, au Colorado et au Centre ICRISAT.

Ces collections furent créées en appui aux programmes d'amélioration des plantes en Inde puis prirent des dimensions mondiales. Elles ont été particulièrement utiles et ont fait l'objet de criblages en plusieurs parties du monde. Les collections de sorghos ont donné lieu à de nombreuses mesures de caractères morphologiques.

Tableau 4.1: Volumes relatifs des collections existantes de sorghos et de mils.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nombre approximatif d'introductions
<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgho	16 587
<i>Pennisetum americanum</i>	Petit mil	12 431
<i>Eleusine coracana</i>	Eleusine cultivée	662
<i>Setaria italica</i>	Millet des oiseaux	733
<i>Panicum miliare</i>	Millet commun	214
<i>Panicum miliaceum</i>	Proso	155
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	Herbe à épée	254
<i>Echinochloa colonum</i>	Echinochloa (panie pied de coq)	345

Ce travail a fait l'objet d'une publication spéciale de l'Indian Society of Genetics and Plant Breeding (Murty et al. 1967). Une partie importante de la collection a été testée pour la résistance à la mouche des pousses (*Atherigona soccata*), et au foreur (*Chilo partellus*).

D'autres listes de variétés de sorgho résistantes à diverses maladies ont été dressées, pour la rouille (*Puccinia purpurea*), le mildiou (*Peronosclerospora sorghi*), la maladie sucrée ou l'ergot (*Sphacelia sorghi*), l'helminthosporiose (*Helminthosporium turcicum*) et la maladie des taches grises (*Cercospora sorghi*).

Les informations sur les collections de sorghos continuent à s'accumuler en d'autres lieux. Futrell et

Webster (1966b) ont rassemblé et publié des données sur la résistance au mildiou d'une importante partie de la collection mondiale, de même (1966a) sur la résistance de certaines races de sorgho à la maladie des bandes de suies (*Ramulispora sorghi*). John Axtell et R.C. Pickett de l'Université du Purdue (Indiana, Etats-Unis) ont déterminé les teneurs des sorghos de la collection mondiale en protéines, lysine et autres acides aminés.

De nouvelles données s'accumuleront encore lorsque de nouveaux chercheurs, en différentes parties du monde, tireront parti de la collection. Les résultats intéressants de la plupart de ces travaux seront publiés. Certains paraîtront dans des rapports d'activité, etc. Ces publications et ces rapports devraient normalement parvenir à la connaissance de tous ceux qui s'intéressent à ce sujet.

C'est ainsi que les publications et les rapports existants diffusent les informations relatives à la collection. Il importe, pour le rôle de la collection, que de telles publications soient accumulées à titre de référence. Des descripteurs corrects des collections de sorgho et de petit mil (*Pennisetum americanum*) sont élaborés en de nombreuses parties du monde, sous forme standardisée, ces données étant traitées par ordinateur. Les descripteurs relatifs au sorgho sont définis à l'Annexe 2. L'ordinateur peut servir à identifier les introductions possédant certains caractères particuliers. Il est également possible d'imprimer des catalogues.

La collection de sorghos a fourni une large base génétique pour le programme d'amélioration en Inde. Seule une partie de cette collection, les types à endosperme jaune, a été extensivement mise à contribution. Ces types (croisés avec Combine Kafir 60 un parent mâle-stérile cytoplasmique) ont donné un hybride à bon rendement dont la qualité de grain correspond aux goûts locaux et dont le battage est aisé. Plus récemment d'autres entrées de la collection ont été davantage mises à contribution, essentiellement en tant que parents pour des croisements, à partir desquels on a sélectionné de nouvelles lignées. L'ensemble de la collection a pu fournir des sources de résistance aux insectes et aux maladies, et a été criblé pour la qualité des protéines. Elle a fait l'objet d'un criblage intensif pour la résistance à *Atherigona soccata*. Différentes formes de résistance ont été identifiées : l'antibiologie, la résistance par restauration (survivance des talles après destruction de la tige principale) et la non préférence pour la ponte. Tous ces types de résistance ont été mis en oeuvre, avec des degrés de réussite variables.

Sujets restant à étudier

Il a été difficile de maintenir certaines introductions à Hyderabad, en Inde, et d'en produire beaucoup de semences, d'où la nécessité de multiplications fréquentes. On sait ainsi, par exemple, que la vigueur des introductions venant des Hauts Plateaux d'Éthiopie diminue beaucoup lorsqu'elles sont cultivées à Hyderabad. Ceci confirme l'idée que les collections devraient être entretenues dans leur zone d'origine (ou au voisinage), de façon à être conservées en quantités adéquates et sous leur forme originale.

Il est difficile de décrire de façon satisfaisante les caractéristiques agronomiques d'une collection. Au fur et à mesure de l'extension et du criblage de la collection de sorgho, les chercheurs de l'ensemble de l'Inde ont été invités à y faire leurs propres choix. Les chercheurs des États-Unis ont pu voir cette collection à Porto Rico. Ces collections de sorgho et de mil *Pennisetum* sont actuellement décrites par des descripteurs standardisés. Il est possible d'identifier les entrées intéressantes grâce au traitement par ordinateur des descripteurs. On manque de données valables sur l'origine de ces collections et, dans de nombreux cas, les informations ne sont pas disponibles là où la collecte a été réalisée. Les collectes d'espèces sauvages et adventices sont pratiquement nulles. Ceci indique la nécessité d'une formation préalable pour les collecteurs.

Il est onéreux d'entretenir et de distribuer une collection. La plupart des programmes d'amélioration des plantes manquent de fonds et de moyens, et il paraît difficile de les surcharger de la gestion d'une collection sans les doter du budget et du personnel correspondants.

Il faudrait, pour assurer leur conservation, que les collections soient gardées, en stockage prolongé, en deux endroits au moins, dans différentes parties du monde, de sorte que, si l'une est détruite ou endommagée, il en subsiste au moins une qui puisse servir à l'agriculture et à la recherche.

Le sorgho est une graminée tropicale. Il a pu être adapté à la culture jusqu'à une latitude de 45°. Cependant, en raison du photopériodisme, la plupart des collections adaptées aux zones tropicales ne fleuriront pas en latitude élevée.

Le United States Department of Agriculture (USDA), la Texas Agricultural Experiment Station, ainsi que plusieurs sociétés commerciales des États-Unis ont commencé à transformer ces types tropicaux en types de plus petite taille et moins sensible à la photopériode. Le processus de con-

version est essentiellement basé sur le rétrocroisement, la plante de petite taille et précoce étant le parent non récurrent. Les croisements et les rétrocroisements ont lieu sous les tropiques, à la Federal Station, Mayaguez, Porto Rico (17°N). Les descendances en cours de ségrégation sont cultivées plus au Nord : Chillicothe and Plains Research and Extension Station of the Texas Experiment Station, Lubbock, Texas (34°N). Les individus précoces et de petite taille sont renvoyés à Mayaguez pour y être rétrocroisés et autopolinisés (ce cycle demande un an). Au bout de trois ou quatre cycles de rétrocroisement on récupère le type exotique, mais de petite taille et pratiquement insensible au photopériodisme. Les sélectionneurs américains se sont beaucoup intéressés à ce programme de conversion en raison du nombre considérable de nouveaux génotypes mis à leur disposition. Sous les tropiques, les sélectionneurs pratiquent des introductions à partir de ce programme (totalement ou en partie converties) pour en tirer de nouvelles lignées.

Les numéros attribués à ces introductions au début de ces collections sont maintenant utilisés internationalement. Dès le début, les sorghos indiens se virent attribuer des numéros IS ('Indian Sorghum'). Les mils *Pennisetum* reçurent des numéros IP ('Indian Pennisetum'), etc. En Inde, le numéro IS fut retenu comme pedigree par toutes les stations l'utilisant, la localisation et la saison de culture y étant ajoutées comme origine; ceci constituant, en fait, un pedigree complet. Ainsi IS 534 semé à Hyderabad sur la ligne 25 pendant l'été (saison *khari*) 1970 aurait le pedigree IS 534 Hyd 70 K 25. La même lignée, semée à Coimbatore sur la ligne 105 aurait le pedigree IS 534 CO 70 K 105. L'USDA a accepté d'employer les numéros IS au lieu des numéros PI antérieurement en usage pour les collections de sorghos. Les introductions du programme de conversion ont conservé leurs numéros IS, mais on y a adjoint un "C" comme par exemple : IS 534 C. Les numéros IS ont aussi été retenus comme ces collections étaient utilisées dans le Proche-Orient, avec des symboles appropriés pour indiquer le lieu et la saison de culture. Ces accords témoignent d'un effort continu pour éviter la prolifération des numéros affectés à la même lignée.

Types de collections dont la création est recommandée

La Fondation Rockefeller a constitué divers comités pour étudier les problèmes de collecte et de préservation.

vation du germplasma de plusieurs cultures importantes. Ceci est actuellement la responsabilité de l'International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). J.R. Harlan a présidé le comité, patronné par la Fondation Rockefeller, pour le sorgho et les mils. Les recommandations de ce comité, en ce qui concerne les collections à créer, sont les suivantes :

Collections d'introductions : les semences de toutes les collections sont conservées. Ceci réduit les possibilités de pertes génétiques par l'élimination de souches apparemment identiques et la méconnaissance de caractères héréditaires intéressants par la mise en bulk.

Collections de base : Elles sont subdivisées suivant deux critères : 1) la race, la sous race, la distribution géographique et l'adaptation; 2) les caractères héréditaires d'importance économique (résistance aux insectes et aux maladies, aptitude à la combinaison, réponse à l'azote, etc.). Ce type de collection exige une évaluation approfondie, basée sur l'expérience de chercheurs travaillant dans l'ensemble du monde.

Collections de plantes spontanées : Elles se composent de plantes sauvages ou adventices. Elles doivent être cultivées à part, essentiellement en raison d'exigences culturelles particulières, et parce que certaines peuvent être nuisibles en tant que mauvaises herbes.

Collections de bulks : Il s'agit d'une série de bulks réalisés par le mélange de matériels végétaux analogues. Il faut veiller à ce que des caractères intéressants, tels que la résistance à un insecte particulier, ne soient pas perdus lors de ce mélange. Des bulks spéciaux pourraient être constitués de variétés douées de caractères particuliers. Pour chacun de ces bulks, les composantes devraient être similaires en ce qui concerne leur origine, leur taille, leur précocité et leur adaptation.

Collection de variétés dénommées : Elle comprend des variétés améliorées (non hybrides), dénommées et vulgarisées ou commercialisées par des organismes publics ou privés. A un moment donné, celles-ci ont été considérées comme remarquables, et un germplasma élite de cette sorte conserve certainement une valeur.

Collections de gènes : Elles comprennent des génomes dans lesquels figurent des facteurs génétiques identifiés : translocations, inversions, ou d'autres caractères particuliers, et aussi des lignées résistantes à certaines races de pathogènes, à certains insectes, etc. Ceci pourrait constituer une banque de gènes.

Collections de population : Il s'agit de populations créées par des introductions soigneusement choi-

sies pour préserver le germplasma et susceptibles d'amélioration par sélection. Ce dernier objectif est de fournir du matériel de base pour de futurs programmes de croisements.

La collection de base, celles de bulks et celles de populations devraient être conservées en plusieurs endroits, et devraient être gérées en liaison avec un important programme d'amélioration des plantes. Du fait que les réglementations relatives aux quarantaines deviennent de plus en plus restrictives, il est de plus en plus difficile de faire voyager les semences librement.

Il serait d'un grand intérêt que les collections de base ou de travail soient entretenues dans les continents concernés par la culture. Ceci allègerait les problèmes liés à la quarantaine et au fardeau budgétaire d'une unique source de fourniture de semences. Ceci donnerait aussi une base pour la multiplication de la partie de la collection adaptée à cette zone.

Il est important de tenir un herbier des introductions dans la collection, surtout pour la collection de base. A chaque augmentation, il y a un risque d'erreurs de manipulations, et il peut se produire des modifications en raison du volume des échantillons et des influences de l'environnement.

Dans l'idéal, un herbier d'échantillons devrait comprendre la panicule à la floraison, la panicule à maturité, la feuille paniculaire, et au moins une autre feuille, y compris la gaine foliaire et deux noeuds. S'il est impossible de réaliser un herbier aussi élaboré il faudrait au moins avoir les panicules à maturité. Il est fréquent qu'un échantillon donné ne soit pas uniforme, et plusieurs panicules peuvent être nécessaires pour être représentatives. Les échantillons pour l'herbier seront facilement prélevés à partir de la première multiplication après la collecte.

Il est fréquent que les collectes soient réalisées par des chercheurs envoyés d'une partie du monde à l'autre dans ce but. Ils ne disposent alors que d'un temps limité et ne peuvent examiner que les cultures à maturité et leurs parents spontanés. Les échantillons prélevés sur les marchés accroissent la gamme. Bien que beaucoup de matériel de valeur ait été collecté de cette façon, une certaine incertitude subsiste sur la valeur de ce mode de collecte.

La collecte peut être également effectuée par du personnel local (c'est-à-dire des gens vivant dans le pays), lesquels peuvent faire des tournées périodiques dans la région selon un calendrier approprié.

Il doit y avoir, dans chaque pays, plusieurs personnes, employées dans des stations régionales de recherche, qui pourraient être formées à identifier la

plante cultivée et ses parents spontanés ou adventices. Ils seront en mesure de noter correctement le lieu de la collecte, ainsi que l'utilisation locale de l'échantillon prélevé. Ces prospecteurs devront bénéficier des moyens nécessaires pour se déplacer en temps opportun, et, si besoin est, en des lieux reculés. Il faudra aussi qu'ils soient fortement motivés et dévoués au programme.

Les collectes réalisées dans chaque région devraient être incorporées dans la collection mondiale de sorte qu'elles puissent être mises en oeuvre dans les programmes d'amélioration du monde entier.

Nomenclature des pedigrees et des cultivars

Systèmes pedigrees

Un système pedigree doit pouvoir attribuer une dénomination à chaque type individuel; indiquer les relations entre eux (lignées soeurs); et permettre la connaissance précise de l'historique du croisement, et de retracer les générations successives de leur création.

Les caractéristiques d'un système pedigree sont :

- la brièveté;
- la simplicité;
- une lecture facile;
- la clarté;
- une information complète;
- l'existence de dispositifs internes évitant les erreurs.

Les sélectionneurs font usage de nombreux systèmes de nomenclature. La discussion ci-après porte sur les différentes considérations qu'il faut prendre en compte pour définir de tels systèmes.

Pratiques courantes et enregistrement

Quand un sélectionneur demande des semences à un autre, celles qu'il reçoit sont identifiées par le système pedigree du fournisseur. Il arrive souvent que ce sélectionneur veuille identifier ces nouvelles introductions dans son programme selon sa propre nomenclature; cependant, si une lignée est très connue par un pedigree particulier, il peut être intéressant de le conserver. Quoiqu'il en soit, le pedigree utilisé par le fournisseur est inscrit dans le registre d'introductions du destinataire.

Les registres d'introductions et de terrain sont d'un usage continu. Ils servent surtout à assurer la fourniture de semences pour les essais et les parcelles tests ainsi qu'à satisfaire aux demandes de semence. Il est bon de pouvoir, à l'aide des dossiers pedigree, retrouver les semences dans le magasin de stockage. On peut, à certains moments, redemander des semences de certaines variétés, soit qu'elles aient été perdues, soit qu'on ait besoin de plus grandes quantités. Il est parfois nécessaire de se reporter aux enregistrements pour corriger les pedigrees : des erreurs de copie peuvent se produire. Certaines lignées peuvent être vulgarisées chez les paysans, il est alors courtois de mentionner la station qui a fourni la semence d'origine. C'est ainsi qu'on doit pouvoir, grâce au registre d'introductions et à l'historique du croisement, vérifier le nom de l'expéditeur.

Les enregistrements de pedigree et les registres d'introductions sont très utiles pour planifier les semis, résumer les données, et rédiger les rapports.

De nombreux cas peuvent demander une notation légèrement différente. Le plus courant est celui d'un programme de sélection en un lieu donné, susceptible de fonctionner indépendamment d'autres localisations. Ce système se complique quelque peu s'il implique une seconde saison, ou une autre localisation (tropicale par exemple pour une sélection d'hiver) avec donc possibilité de cultiver plus d'une génération par an. Dans un troisième cas, des sélectionneurs basés en divers lieux dans un même pays travaillent en liaison étroite dans le cadre d'un programme coopératif; les références du pedigree peuvent présenter des caractéristiques communes, mais il reste souhaitable que les stations respectives soient bien identifiées.

Parmi les notations utilisées, il faut noter celles qui concernent :

- les échantillons de semences reçus;
- les sélections pratiquées au cours des premières générations;
- les lignées "fixées";
- les variétés vulgarisées;
- les hybrides, en essais préliminaires, en essais de confirmation et lors de leur vulgarisation.

Les pedigrees présentent en général deux facettes, un nom et une origine, ou source (les deux termes étant utilisés par les sélectionneurs). Le nom sert de référence à une lignée, cependant que l'origine permet de retracer l'historique du pedigree.

Le Tableau 4.2 donne l'exemple d'une nomenclature employée par une station ayant une seule saison de travail par an (le numéro de pedigree IS 532

est ici utilisé comme exemple). Il est à noter que le système du Tableau 4.2 fait appel à une notation numérique simple qui utilise pour le pedigree le numéro d'introduction.

Tableau 4.2: Système de notation pedigree pour une station et une saison de culture par an.

Année	Pedigree (IS)	N° de rang	Procédure de sélection*
1971	532	25	S(3)
1972	532-1	36	S(2)
	-2	37	D
	-3	38	A(3)
1973	532-1-1	5	D
	-1-2	6	A(2)
	532-3-1	7	D
	-3-2	8	U
	-3-3	9	D
1974	532-1-2-1	101	A(4)
	-1-2-2	102	D
	532	103	Multiplication

*Codes de la procédure de sélection :

A(3) = Bien que pas totalement homogène le rang est acceptable. Trois panicules sont sélectionnées et conduites en panicules-lignes l'année suivante, un bulk des semences des trois panicules est semé en parcelle de croisements et croisé avec le(s) parent(s) de contrôle.

S(2) = Le rang n'est pas suffisamment uniforme pour être semé en parcelle de croisements—on sélectionne deux panicules conduites en panicules-lignes l'année suivante.

D = Éliminé.

U = Rang uniforme, on peut le récolter en bulk, le resemer dans la parcelle de croisements et le croiser avec le(s) parent(s) de contrôle.

Pour plus d'informations voir le chapitre sur les méthodes d'acquisition des données (page 98 ff.).

On y ajoute un nombre chaque fois que l'on opère une sélection, celui-ci faisant alors partie du pedigree, qui s'allonge ainsi à chaque génération.

En six générations, une lignée pourrait avoir un pedigree comme 532-1-2-1-53. Il est difficile de recopier de tels pedigrees dans les registres de terrain et les rapports. Lors des hybridations les pedigrees sont encore plus longs et leur rédaction demande davantage de place.

Ce système peut être modifié et ne comporter que le numéro de sélection de la génération précédente. Le pedigree complet, comprenant tous les numéros de sélection successifs peut alors être reconstruit en remontant à travers les fiches de travail. Ceci nécessite l'addition d'une "origine". Les premiers chiffres de l'origine indiquent la saison précédente et les suivants le numéro de la ligne au cours de cette saison (Tab. 4.3).

Dans de tels systèmes, la nomenclature exige que l'origine fasse partie du pedigree, c'est-à-dire que l'origine est indispensable à l'établissement du pedigree; elle doit être conservée aussi soigneusement que la dénomination de ce dernier.

Le système se complique légèrement lorsque la station a plus d'une saison de culture par an. Dans ce cas, la sélection est généralement faite au cours de la saison principale alors que l'on réalise, hors saison, des opérations non sélectives, telles que des parcelles de croisement pour l'obtention de semences hybrides, ou la culture de F₁ pour l'obtention de F₂ (Tab. 4.4).

On présume que les descendants des croisements vont entrer dans des essais de rendements; leur origine étant 72W 1350 x 72W 1097 pour les essais 73S, et 73W 1600, 73W 1065 dans les essais 74S. Notons que 72W ou 73W peuvent ne figurer

Tableau 4.3: Autre système de notation pedigree pour une station et une saison de culture par an.

Année	Origine	Pedigree	N° de rang	Procédure de sélection*
1971	Acc.IS 532	IS 532	25	S(3)
1972	71-25	532-1	36	S(2)
	25	-2	37	D
	25	-3	38	A(3)
1973	72-36	32-1	5	D
	36	-2	6	A(2)
	38	-1	7	D
	38	-2	8	U
	38	-3	9	D
	73-6	532-1	101	A(4)
1974	6	-2	102	D
	8	532	103	Multiplication

*Voir Tableau 4.2 pour l'explication des codes de la procédure de sélection.

Tableau 4.4: Système pedigree pour une station ayant plus d'une saison de culture par an.

Saison	Origine	Pedigree (IS)	N° de rang	Procédure
				Procéd. de sélec. #
1971S*	Acc. IS 532	532	25	S(3)
1972S	71S 25-1	532	36	S(2)
Parcelle de sélection	-2	532	37	D
	-3	532	38	A(3)
				Instruction pour la pollinisation
1972W*	72S 38-SB**	532	1097	Sur 1350 (20)***
Parcelle de croisements		CK60A	1350	
				Procéd. de sélec.
1973S	72S 36-1	532	5	D
Parcelle de sélection	-2	532	6	S(2)
	38-1	532	7	D
	-2	532	8	U
	-3	532	9	D
Essais de rendement	72W 1350 x 1097	CK60A x IS532	106	Instruction pour la pollinisation
1973W	73S 8-SB	532	1065	Sur 1600 (20)
Parcelle de croisements		CK60A	1600	
				Procéd. de sélec.
1974S	73S 6-1	532	101	A(4)
Parcelle de sélection	-2	532	102	D
	8	532-1	103	Multiplication
Essais de rendement	73W 1600 x 1065	CK60A x IS532	251	

Voir Tableau 4.2 pour l'explication des codes de la procédure de sélection.

* S = Été (semis de juin à juillet); W = Hiver (semis de janvier à février).

** SB = Bulk des panicules sélectionnées sur un rang.

*** (20) = Indique que 20 panicules de CK60A doivent être croisées par l'introduction IS 532.

qu'en tête de colonne et que les numéros 1350 x 1097 ou 1600 x 1605 apparaissent seuls dans la colonne.

Il existe un système légèrement différent, dans lequel le pedigree ne change pas d'une génération à la suivante, car les numéros de sélection se rapportent à l'origine plutôt qu'au pedigree. Un pedigree complet pourrait ainsi être IS 532-71C 25-1. L'inconvénient est que toutes les lignées soeurs deviennent uniformes (par exemple : IS 532-1, IS 532-2S, ou ce nom peut être modifié, par l'affecta-

tion d'un nombre expérimental : SPV 25—Sorghum Preliminary Variety).

Notons que la différence de saison est signalée par l'addition d'une lettre à l'origine. Une certaine confusion peut résulter de la rédaction simultanée de chiffres et de lettres (par exemple : 5 et S, 1 et I, C ou G et 6).

En vue de réduire ce risque, on utilise deux chiffres plutôt qu'un seul pour indiquer l'année. Le symbole 71S peut en effet être un peu plus clair que le symbole 1S, lequel peut être confondu avec IS.

C'est ainsi que les lettres succèdent toujours à deux chiffres; de cette façon, une lettre S mal écrite ne peut être confondue avec un 5 parce que, étant en troisième position, ce ne peut être qu'une lettre.

Le processus de sélection conduit à constituer un bulk des semences des trois sélections de 73S 38 pour les semer dans la parcelle de croisement en 73W.

Ceci est considéré comme satisfaisant pour un test d'évaluation préliminaire. Notez que les parcelles de collection et de croisements doivent être organisées et numérotées sur des bases distinctes, de sorte que deux parcelles ne puissent porter le même numéro au cours de la même saison (ainsi, par exemple, les numéros de lignées de la collection sont inférieurs à 1000 et ceux des parcelles de croisement supérieurs à 1000).

Au cas où une introduction se montrerait extrêmement hétérogène, il y aurait lieu d'y pratiquer une sélection au cours des deux saisons. Dans ce cas, les fiches de sélection se présenteraient comme au Tableau 4.5.

Un programme de sélection coopératif ou coordonné peut être réalisé en plusieurs localisations,

dans ce cas un système pedigree uniforme a son utilité.

Il doit alors être modifié pour inclure une indication de lieu. Par exemple :

TA = Tel Amara	Sd = Sids
Kf = Kfardan	Sh = Shandaweel
Ba = Bahteem	Iz = Izmir
Ma = Mallawi	WM = Wad Medani

L'une de ces stations peut servir à la culture de contre-saison pour une autre, par exemple : Wad Medani (latitude 15°) assure la culture d'hiver pour le programme coopératif. Les mouvements de semences entre stations sont retracés en faisant de la localisation une partie de l'origine; par exemple : WM72W. Notez que ceci est rédigé en lettres-chiffres-lettre ce qui permet de séparer des symboles analogues (lettres et chiffres) aux significations différentes. La colonne des origines, dans l'exemple ci-dessus, peut alors se présenter comme dans le Tableau 4.6.

Les colonnes pedigree, ligne et procédures sont les mêmes qu'au Tableau 4.5. Un pedigree complet pourrait être IS 532 WM72W 46-1.

Tableau 4.5: Notation pedigree lorsque la sélection porte sur deux saisons de culture par an.*

Année	Origine	Pedigree (IS)	N° de rang	Procédure
				Procédure de sélection
1972S	71S 25-1	532	36	S(2)
	-2	532	37	D
	-3	532	38	A(3)
1972W	72S 36-1	532	45	D
Parcelle de sélection	-2	532	46	S(2)
	38-1	532	47	D
	-2	532	48	A(4)
	-3	532	49	D
				Instruction pour la pollinisation
1972W	72S 38-SB	532	1097	Croisement avec 1500(20)
Parcelle de croisements		CK60	1500	
				Procédure de sélection
1973S	72W 46-1	532	5	D
	-2	532	6	A(2)
	48-1	532	7	D
	-2	532	8	U
	-3	532	9	D
	-4	532	10	D
	etc.			

*Voir Tableaux 4.2 et 4.4 pour l'explication des codes utilisés.

Tableau 4.6: Notation pedigree lorsqu'il y a plus d'une station en jeu.

Localisation	Origine	N° de rang
Tel Amara 72 Parcelle de sélection	71TA 25-1	36
	-2	37
	-3	38
Wad Medani 72 Hiver	72TA 36-1	45
	-2	46
	38-1	47
	-2	48
Tel Amara 73 Parcelle de sélection	WM72W 46-1	5
	-2	6
	etc.	

Il est utile d'avoir, dans un même pays ou dans une même région, un système commun de pedigree qui favorise une coopération plus étroite (c'est-à-dire qu'il a la même signification pour les chercheurs travaillant en différents lieux). Il y a souvent un problème pour définir un système convenant à toutes les stations participantes. Si chacune d'elles introduit des semences de façon indépendante des autres, et leur assigne sa propre numérotation, il ne peut y avoir de système commun.

Il arrive souvent qu'il y ait, dans un pays, une coordination des recherches sur une culture donnée, entre les différentes stations concernées. Dans le cas où l'une de celles-ci joue le rôle de coordinateur, elle peut agir comme répartiteur pour les introductions et leur attribuer un numéro qui se

maintiendra uniforme au sein du dispositif. Si la coordination n'est pas réalisée, il est possible d'assigner à chaque station un lot de numéros; par exemple : 1 à 2000 pour Shandaweel, 2001 à 4000 pour Sids, et 4001 à 6000 pour Mallawi. Il y a lieu de donner la préférence au premier de ces systèmes car il évite, de façon pratique, de voir attribuer à une même introduction des numéros de code différents. Un tel système fonctionne d'autant mieux que le pays a un programme d'introduction de semences.

Le service des introductions les adresse alors à la station de coordination qui leur attribue un numéro, valable pour l'ensemble du programme, avant de les expédier à la station demandeuse. Le second système peut être efficace si, après qu'une station ait affecté un numéro à une introduction, celui-ci demeure immuable d'une station à l'autre à l'intérieur du réseau. Dans le respect de cette procédure, le seul cas où une introduction peut avoir plus d'un numéro est celui où deux stations ont demandé la même.

Pour chaque système, il existe deux possibilités de codage. Dans les deux, les chiffres restent constants, mais le préfixe représente le pays (par exemple : Eg. pour Egypte), ou une station (par exemple : Sh pour Shandaweel, Sd pour Sids, Ma pour Mallawi). L'identification de la station étant partie intégrante de l'origine n'est donc pas nécessaire dans le pedigree.

Il est très souhaitable d'adopter une nomenclature nationale (comme Eg.); ceci tendrait à fortifier l'esprit de coopération.

Les Tableaux 4.7 (a) et 4.7 (b) donnent des exemples de ces systèmes.

Tableau 4.7a: Exemples dans lesquels les numéros d'introduction d'un programme national sont dévolus à une station principale faisant usage d'un préfixe indiquant le pays d'origine.

Année	Origine	Pedigree	N° de rang	Procéd. de sélec.*
71 Sh	Acc. 504	Eg 504	25	S(3)
72 Sh	71Sh 25-1	504	36	S(2)
	-2	504	37	D
	-3	504	38	S(3)
Imaginons que le sélectionneur à Sids demande des sélections du rang 36; son enregistrement de pedigree en 1973 serait :				
73 Sd	72Sh 36-1	Eg 504	45	S(3)
	-2	504	46	D
74 Sd	73Sd 45-1	504	47	S(1)
	-2	504	48	D
	-3	504	49	S(2)

*Voir Tableau 4.2 pour les codes de la procédure de sélection.

Tableau 4.7b: Exemples du second système, où chaque station attribue son propre préfixe et dispose d'une série de numéros d'introduction.

Année	Origine	Pedigree	N° de rang	Procédure de sélection*
71 Sh	Acc. 504	Sh 504	25	S(3)
72 Sh	71Sh 25-1	504	36	S(2)
	-2	504	37	D
	-3	504	38	S(3)

Supposons que le sélectionneur à Sids demande les sélections du rang 36; en 1973 son enregistrement des pedigrees serait alors le suivant :

73 Sd	72Sh 36-1	Sh 504	45	S(3)
	-2	504	46	D

Au cours de la même année les sélections de Sids seraient:

	72Sd 105-1	Sd 2351	47	S(2)
	-2	2351	48	D
	-3	2351	49	S(1)
74 Sd	73Sd 45-1	Sh 504	101	S(4)
	-2	504	102	D
	-3	504	103	D
	47-1	Sd 2351	104	S(2)
	-2	2351	105	S(1)
	49	2351	106	D

*Voir le Tableau 4.2 pour les codes de la procédure de sélection. Il faut noter que le symbole Shandaweel "Sh" fait toujours partie du pedigree génération après génération, alors que le symbole "Sh" n'apparaît dans la colonne origine que dans les enregistrements de Sids en 1973.

Le système consistant à conserver le symbole de la station peut être utilisé aussi longtemps que la lignée reste en multiplication et en essais; par la suite, lorsqu'elle devient homogène, ou entre en essais régionaux, ou est vulgarisée, on pourra lui ajouter un symbole national.

S'il n'est pas possible de maîtriser au sein d'un programme, les numéros d'introductions, un système analogue de notation pedigree peut être respecté si les numéros d'introductions sont associés avec le symbole de la station. Ainsi, Sh 532 et Sd 532 ont le même format et paraîtront comme similaires dans les fichiers mais auront des numéros d'introduction différents. Ce système n'est prati-

cable que si les sélectionneurs concernés s'accordent pour que ces pedigrees ne soient pas modifiés d'une station à l'autre au sein du programme (par exemple: Sh 532 gardera ce pedigree qu'il soit cultivé à Shandaweel, à Sids ou à Mallawi). Bien que ce système soit d'une gestion aisée, il manque de simplicité afférente à l'attribution d'un numéro unique par pedigree au sein d'un même programme coopératif.

Par contre, un tel système peut se révéler utile dans un programme régional comprenant plusieurs pays.

Les introductions dans la collection mondiale de sorghos ont été numérotées "IS". De même que les dénominations de pedigree ne doivent pas être changées, ces numéros IS devraient demeurer immuables. Ceci serait extrêmement utile dans la mesure où les chercheurs du monde entier font usage de cette collection. Il est significatif que, pour le programme de conversion de l'USDA et de la Texas Agricultural Experiment Station le préfixe IS et le numéro aient été conservés, un "C" ayant été ajouté comme suffixe pour indiquer la conversion (par exemple: "IS 532 C"). De même, les pays utilisant les lignées NES (Near East Sorghum) pourraient avoir recours à cette notation valable, plutôt que d'utiliser de nouveaux symboles.

Sur la base de ces suggestions, les enregistrements de Sids, apparaissent comme au Tableau 4.8.

Un tel système est simple. Les sélectionneurs utilisant les accessions désignées par une notation régionale ou internationale devront simplement lui donner la priorité sur la leur propre dans l'intérêt d'une coopération plus efficace.

Les systèmes de nomenclature décrits jusqu'ici s'appliquent à des programmes de sélection pedigree. Les panicules-lignes finissent par s'homogénéiser et les choix individuels dans les lignées des parcelles de sélection cessent: la sélection passe alors par des récoltes en "bulk", et l'origine continue à être figurée par le numéro de parcelle de l'année précédente. A partir de ce moment, la lignée peut continuer à porter le même numéro de pedigree. Les parents mâles de CSH-1 et CSH-2, IS 84 et IS 3691, respectivement, ont été entretenus sous leur nomenclature originale. Si plusieurs lignées soeurs de IS 84 devenaient uniformes, il y aurait lieu de les différencier par leur origine. Une lignée uniforme n'a aucune raison de continuer plus longtemps à figurer dans le programme. Elle doit, soit être vulgarisée en tant que lignée pure, soit servir de parent pour des hybridations, soit être éliminée (les noms à donner aux lignées et aux hybrides vulgarisés sont discutés un peu plus loin).

Tableau 4.8: Système pedigree concernant des lignées denominées bien connues.

Année	Origine	Pedigree	N° de ligne	Procéd. de sélec.*	
73 Sd	72Sh 36-1	Eg 504	45	S(3)	
	-2	504	46	D	
	72Sd 101-1	IS 532	47	D	
	-2	532	48	S(2)	
	-3	532	49	D	
	105-1	NES 4055	50	D	
	-2	4055	51	S(1)	
	106	Plainsman	52	Bulk	
	74 Sd	73Sd 45-1	Eg 504	141	D
		-2	504	142	S(3)
-3		504	143	D	
48-1		IS 532	144	D	
-2		532	145	S(2)	
51		NES 405	146	S(3)	
52		Plainsman	147	Bulk	

*Voir Tableau 4.2 pour les codes de la procédure de sélection.

En résumé les avantages de ce système sont :

- la brièveté des pedigrees;
- la séparation des lettres et des chiffres lorsque leur signification change, et le fait que chacun occupe une place spécifique, de sorte que l'on évite les confusions dues à une graphie défectueuse. L'historique du pedigree dans le temps et l'espace se retrouve facilement. Les pedigrees bien connus sont conservés. Les sélections réalisées à partir d'une même introduction conservent leur identité en chaque station du réseau, de sorte que tous les sélectionneurs, dans un programme coordonné, mettent en oeuvre les mêmes associations de pedigrees. L'origine est partie intégrante du pedigree.

Nomenclature pour les hybridations

On réalise des hybridations : (a) pour des rétrocroisements, (b) pour créer un matériel végétal à partir duquel on sélectionnera de nouvelles lignées, et (c) pour créer des hybrides à évaluer directement. Les considérations relatives aux pedigrees pour chacun de ces objectifs sont présentées dans les Tableaux 4.9 à 4.12 (des informations complémentaires sur le semis et la gestion d'une parcelle de croisements à la page 102 ff.).

Rétrocroisement

Cette procédure sert à transférer un caractère utile d'un parent (non récurrent) à des lignées (récurrentes) ne le possédant pas.

Rétrocroisements pour créer des parents mâles-stériles : l'un des programmes de rétrocroisements importants pour le sorgho consiste à créer de nouvelles lignées mâles-stériles utilisées comme parents dans les hybridations.

Il est possible, par rétrocroisement, de récupérer le phénotype du parent récurrent, mais doté de la stérilité mâle. Ce processus figure au Tableau 4.9 (il est examiné plus en détail à partir de la page 125). Le recours à des cultures de contre-saison permet de doubler le rythme d'un tel programme.

Cet exemple (Tab. 4.9) suppose que l'on n'utilise qu'un seul parent non récurrent—ici CK 60A. Au cas où l'on ferait appel à plus d'une source de stérilité-mâle, il faudrait utiliser une notation faisant appel à l'indexation, pour éviter l'allongement des pedigrees. Par exemple :

avec CK60A, employer BC₁,
avec IS 3657A employer BC₂,
et avec Martin A employer BC₃.

Il faudra seulement définir clairement, dans les registres de terrain, la signification de ces symboles. Ceci, bien que très important, est souvent négligé.

Tableau 4.9: Rétrocroisement pour la production de lignées mâles-stériles.

Station	Origine	Pedigree	N° de rang	Instructions pour la pollinisation	Procédure de sélection #
Tel Amara 1971S		IS 534*	37	Auto et sur 38**	S(3)
		CK60A	38	x's 37***	S(3)
Wad Medani 1971W TA71S	37-1	IS 534	62	Auto et sur 63	D
	38-1 × 37-1	CK60A × IS 534	63	x's 62	D
	37-2	IS 534	64	Auto et sur 65	S(2)
	38-2 × 37-2	CK60A × IS 534	65	x's 64	S(2)
	37-3	IS 534	66	Auto et sur 67	S(1)
	38-3 × 37-3	CK60A × IS 534	67	x's 66	S(1)
Tel Amara 1972S WM71W	64-1	IS 534	5	Auto et sur 6	S(3)
	65-1 × 64-1	F ₁ × IS 534†	6	x's 5	S(3)
	64-2	IS 534	7	Auto et sur 8	D
	65-2 × 64-2	F ₁ × IS 534	8	x's 7	D
	66-1	IS 534	9	Auto et sur 10	S(2)
	67-1 × 66-1	F ₁ × IS 534	10	x's 9	S(2)
Wad Medani 1972W TA72S	5-1	IS 534	42	Auto et sur 43	S(1)
	5-1 × 6-1	BC ₁ × IS 534†	43	x's 42	S(1)
	5-2	IS 534	44	Auto et sur 45	D
	5-2 × 6-2	BC ₁ × IS 534	45	x's 44	D
	5-3	IS 534	46	Auto et sur 47	S(3)
	5-3 × 6-3	BC ₁ × IS 534	47	x's 46	S(3)
	9-1	IS 534	48	Auto et sur 49	D
	9-1 × 10-1	BC ₁ × IS 534	49	x's 48	D
	9-2	IS 534	50	Auto et sur 51	S(2)
	9-2 × 10-2	BC ₁ × IS 534	51	x's 50	S(2)

Voir Tableau 4.2 pour les codes de la procédure de sélection.

* En supposant connu que IS 534 n'est pas restaurateur lorsqu'il est croisé avec Combine Kafir 60 (lignée A) mâle-stérile.

** Auto et sur : le pollen est placé sur la panicule sur laquelle il a été récolté et sur une panicule d'un autre rang.

*** x's : le pollen utilisé pour le croisement provient d'un autre rang (par exemple, rang 37).

† F₁ = CK60A × IS 534; BC₁ = (CK60A × IS 534) × IS 534 etc.

Une fois reconstitué le type initial, doté de la stérilité mâle, certains symboles sont nécessaires pour signaler le fait. Les meilleurs sont IS 534A pour le mâle-stérile et IS 534B pour le mainteneur. Si l'on a obtenu plus d'une lignée mâle-stérile, on peut utiliser une notation comme IS 534A-1, IS 534B-1, IS 534A-2, IS 534B-2, etc. (Il est à noter qu'avec l'emploi de ces symboles opérationnels dans le programme de rétrocroisements, la sélection en vue de l'amélioration agronomique se déroule simultanément avec la récupération de la stérilité mâle).

Rétrocroisements pour le transfert d'un seul gène récessif : le rétrocroisement peut aussi servir à transférer, partiellement ou en totalité, des caractéristiques telles qu'une teneur élevée en lysine, la résistance à certains insectes ou certaines maladies, etc. Si le caractère a une hérédité simple, il est

possible de retrouver réellement le phénotype récurrent doté du caractère souhaité. Des circonstances particulières déterminent la modification du pedigree. Si une lignée voit sa teneur en lysine augmentée, la nouvelle notation pourra devenir IS 534 hl, (on y incorpore le symbole du gène). Lorsqu'il s'agit de l'acquisition de la résistance à une maladie, le changement peut avoir un intérêt commercial tel qu'il nécessite un nouveau nom.

Si une variété connue et appréciée depuis longtemps est rendue résistante à une maladie, il est souhaitable de ne modifier que peu son pedigree (par exemple : le nom IS 534R reste, mais l'étiquetage des sacs de semence donne une information descriptive sur la maladie à laquelle la variété est résistante).

Un caractère récessif ne s'exprime pas dans la F₁.

L'autopollinisation périodique est donc nécessaire pour mettre en évidence les caractères récessifs au cours du processus de rétrocroisements. Soit un caractère récessif "a". La F_1 est alors Aa et le premier rétrocroisement $Aa \times AA$ avec une descendance moitié AA, moitié Aa. Si cette descendance est autofécondée, la ségrégation de l'hétérozygote donne un quart de AA, la moitié de Aa et un quart de aa, alors que l'autofécondation de l'homozygote ne donne que des individus AA. La descendance de la F_2 donne cinq individus AA pour deux Aa et un aa (le huitième de la descendance a le phénotype récessif). Le second rétrocroisement est alors $aa \times AA$ et le processus se répète.

En l'absence de sélection au cours de ce processus (de sorte qu'il puisse se réaliser en toutes saisons), le dossier se présente comme au Tableau 4.10. Supposons que NES 601 et 654 soient les parents récurrents AA, et IS 11758 le parent non récurrent et la station concernée est Eskisehir (Es) en Turquie.

Lorsque plus d'un parent non récurrent intervient avec les mêmes parents récurrents, on peut utiliser des indices pour la F_1 , le BC_1 , etc. En supposant que IS 11758 et IS 11167 soient tous deux les parents non récurrents, les pedigrees en Es 75 seront F_1 (11758) \times NES 601 et F_1 (11167) \times NES 601. Il est également possible d'utiliser un code :

$F_1^1 \times$ NES 601 et $F_1^2 \times$ NES 601,
lorsqu'on utilise IS 11758 et IS 11167.

Le pedigree en Es 76 serait :

601 (BC¹) $F_1^1 \times$ NES 601 et
601 (BC²) $F_1^2 \times$ NES 601.

Il faudrait impérativement noter dans les registres de terrain le pedigree réel des indices 1, 2, etc., de sorte que les enregistrements de pedigrees soient complets (IS 11758 et IS 11167 sont à haute teneur en lysine : hl/hl).

Si le caractère en jeu est contrôlé par plusieurs gènes (quantitatif) le nombre de rétrocroisements devra être limité et il faudra sélectionner une lignée nouvelle à partir du croisement. Il peut se faire que seul un ou deux rétrocroisements puissent être effectués avant que l'expression du caractère à transférer ne devienne trop faible, ou diluée, pour justifier la poursuite de l'opération, de sorte qu'il faut commencer à autoféconder. Dans ce cas, le pedigree de la, ou des nouvelles lignées, sera modifié. Les rétrocroisements impliquent essentiellement de croiser entre elles deux lignées dans l'idée d'en retrouver une aussi semblable que pos-

sible à ce qu'elle était initialement. Après le début des autofécondations, l'objectif devient de créer une nouvelle lignée, c'est-à-dire quelque chose qui diffère de chacun des parents. C'est pourquoi, il est nécessaire de modifier le pedigree au début du processus d'autofécondations.

Croisements en vue de la création de matériel végétal pour la sélection de lignées nouvelles

Pour la manipulation des lignées résultant des croisements, il est suggéré que chaque croisement reçoive un nouveau numéro de catalogue. Le processus se déroule ensuite comme dans les exemples précédents. Imaginons, par exemple, des croisements entre Eg 504 et Eg 2351 et Sh 504 et Sd 2351 réalisés à Sids en 1973, et la F_1 cultivée en parcelles d'hiver à Waç Mədani pour donner la F_2 . Un nouveau numéro de catalogue, Sd 3015 a été attribué au croisement Sh 504 \times Sd 2351. La F_2 a été cultivée à Sids en 1974 et une sélection pratiquée pour une culture de panicules-lignes en 1975. Pour éviter le gonflement rapide du catalogue, il est possible de n'assigner de numéros qu'aux croisements qui ont fourni une ou plusieurs sélections dans leurs F_2 . Les fichiers se présenteront de la façon indiquée au Tableau 4.11.

Croisements dans le cadre d'un programme d'hybridation

Lorsque l'on crée des hybrides pour les tester en vue de leur utilisation directe par les cultivateurs, il est suggéré de ne pas leur attribuer de nouveaux numéros et de les identifier par des pedigrees de leurs parents. Ceci permet au sélectionneur de garder trace de la parenté et présente sans doute une utilité plus grande. Les enregistrements se présentent comme au Tableau 4.12. Ces hybrides constituent une fin en eux-mêmes, et ne font donc l'objet d'aucune sélection au cours des générations suivantes. De même, il y a lieu de se procurer de nouvelles semences lorsque le stock disponible s'épuise. Le maintien des pedigrees de la façon indiquée est suffisamment simple pour que l'affectation d'un numéro d'hybride ne puisse être considérée comme avantageuse. Une suggestion est de croiser les deux lignées B et R, à titre expérimental, à partir de la génération F_4 (voir page 127 ff.).

Tableau 4.10: Rétrocroisement pour le transfert d'un caractère récessif unique.

Saison	Génétique	Origine	Pedigree	N° de rang	Instructions pour la pollinisation
74Es	P ₁ {+/+}	73Ta 205	NES 601	26	x's et sur 28(3)*
	P ₂ {+/+}	73Fs 502	654	27	x's et sur 28(3)
	P ₃ {hl/hl}	73WM 405	IS 11758	28	x's et sur 26(3), 27(3)
WM74W	F ₁ {+/hl}	74Es 26 × 28	NES 601 × IS 11758	101	x's et sur 102(3)
	P ₁ {+/+}	26	601	102	x's et sur 101(3), 0(4)**
	F ₁ {+/hl}	27 × 28	NES 654 × IS 11758	103	x's et sur 104(3)
	P ₂ {+/+}	27	654	104	x's et sur 103(3), 0(4)
75Es	BC ₁ {+/+./hl}	WM74W 101 × 102	NES 601(BC ₁)	95	0(20) Sélectionner grains ridés
	BC ₁ {+./+./hl}	103 × 104	654(BC ₁)	96	0(20)
WM75W	(BC ₁)F ₂ {hl/hl}	75Es 95	NES 601(BC ₁)F ₂	250	x's et sur 251(3)
	P ₁ {+/+}	74Es 102	601	251	x's et sur 250(3), 0(4)
	(BC ₁)F ₂ {hl/hl}	75Es 96	654(BC ₁)F ₂	252	x's et sur 253(3)
	P ₂ {+/+}	74Es 104	654	253	x's et sur 252(3), 0(4)
76Es	BC ₂ {+/hl}	WM75W 250 × 251	NES 601(BC ₁)F ₂ × 601	312	x's et sur 313(3)
	P ₁ {+/+}	251	601	313	x's et sur 312(3), 0(4)
	BC ₂ {+/hl}	252 × 253	654(BC ₁)F ₂ × 601	314	x's et sur 315(3)
	P ₂ {+/+}	253	654	315	x's et sur 314(3), 0(4)
WM76W	BC ₃ {+/+./hl}	76Es 312 × 313	601(BC ₃)	275	0(20)
	BC ₃ {+/+./hl}	314 × 315	654(BC ₃)	276	0(20)
77Es	(BC ₃)F ₂	WM76W 275	NES 601(BC ₃)F ₂	402	0(100)
	{4+./+; 1+./+./2+./hl; 1 hl/hl}				
	(BC ₃)F ₂	276	654(BC ₃)F ₂	403	0(100)

Les ségrégats à teneur en lysine élevée devraient être identifiés par l'analyse chimique

WM77W	(BC ₃)F ₃ {hl/hl}	77Es 402	NES 601(BC ₃)F ₃	512	x's et sur 513(3)
	P ₁ {+/+}	76Es 313	601	513	x's et sur 512(3), 0(4)
	(BC ₃)F ₃ {hl/hl}	77Es 403	654(BC ₃)F ₃	514	x's et sur 515(3)
	P ₂ {+/+}	76Es 315	654	515	x's et sur 514(3), 0(4)
78Es	BC ₄ {+/hl}	WM77W 512 × 513	NES 601(BC ₄)	375	x's et sur 376(3)
	P ₁ {+/+}	513	601	376	x's et sur 375(3), 0(4)
	BC ₄ {+/hl}	514 × 515	654(BC ₄)	377	x's et sur 378(3)
WM78W	BC ₅ {+/+./hl}	78Es 375 × 376	601(BC ₅)	65	0(20)
	BC ₅ {+/+./hl}	377 × 378	654(BC ₅)	66	0(20)

* x's et sur 28(3) indique que le pollen provient de trois plantes sur le rang 28 et est placé sur trois panicules du rang 26 et que le pollen de trois plants du rang 26 est placé sur trois panicules du rang 28.

** 0 est un symbole utilisé pour indiquer l'auto-pollinisation; 0(4) indique qu'il faudrait pratiquer 4 autopollinisations dans le rang.

Il est à noter que les grains portés par la moitié des plantes du premier rétrocroisement BC₁ sont {+/+} alors que ceux de l'autre moitié ont une ségrégation {+/+./hl}. Le gène hl, haute teneur en lysine, paraît associé pléiotropiquement avec des grains ridés. On peut donc supposer que les types à grains ridés ont une forte teneur en lysine et les sélectionner visuellement.

Si l'on souhaite sélectionner, parmi des individus en ségrégation, ceux à haute teneur en lysine, à partir de plantes homozygotes pour ce caractère, on sème les grains du premier rétrocroisement BC₁. Les grains des panicules de certaines plantes seront ridés. On les sème, et, à la floraison on fait un nouveau rétrocroisement par le parent +/+.

Dans la ségrégation résultante, les individus à teneur en lysine élevés sont à nouveau identifiés par leurs grains ridés. Ce processus se poursuit normalement au cours de six ou huit rétrocroisements. Au bout de ce travail, le parent non récurrent, NES 601(BC₅ à 3)F₂ {hl/hl}, a en général un phénotype ressemblant assez à celui du parent récurrent NES 601, pour que l'on puisse mettre fin au processus de rétrocroisements. On peut, à ce moment, lui attribuer le pedigree NES 601 hl, en utilisant le symbole du gène pour indiquer la haute teneur en lysine.

Tableau 4.11: Système pedigree pour les lignées sélectionnées à partir de croisements.*

Année	Origine	Pedigree	N° de rang	Procédure
				Instructions pour la pollinisation
73Sd	72Sh 36	Sh 504	105	sur ou x's 106(3)
	72Sd 105	Sd 2351	106	
WM73W	73Sd 105 × 106	Sd 3015	93	Auto-polliniser
				Procédure de sélection
74Sd	WM73W 93	Sd 3015	233	S(5)
75Sd	74Sd 233-1	3015	102	S(2)
	-2	3015	103	S(3)
	-3	3015	104	D
	-4	3015	105	S(1)
	-5	3015	106	S(2)

*Voir tableaux précédents pour l'explication des symboles

Tableau 4.12: Système pedigree pour la création d'hybrides F₁ utilisables en grande culture.

Année	Origine	Pedigree	N° de rang	Instructions pour la pollinisation
73Sd	Acc.	CK60A	25	x's 105(10), 106(10)
	72Sh 36	Eg 504	105	Sur 25(10)
	72Sd 105	Eg 2351	106	Sur 25(10)
			Entrée n°	Parcelle n°
74Sd	73Sd 25 × 105	CK60 × Eg 504	7	1
Essai de rendement	× 106	× Eg 2351	12	2

Nomenclature pour les lignées et les hybrides à vulgariser

Dès qu'une lignée est devenue uniforme, elle a été (ou sera) évaluée, en essais de rendements en tant que variété, ou que géniteur pour des hybridations. Si cette lignée est introduite dans le programme de sélection en raison de résultats prometteurs sur une station, elle fera rapidement l'objet d'essais à l'échelle régionale ou nationale. L'évaluation du rendement à l'échelle d'un état se fait en général sur l'initiative du sélectionneur. La décision d'entreprendre des essais de rendement régionaux (au-delà des frontières d'un état ou d'un pays) dépend en général de la décision d'un groupe plus important. C'est prestigieux pour une lignée d'être intro-

duite dans des essais régionaux. Cette intégration exige en général du sélectionneur qu'il puisse justifier cette décision devant un groupe représentant les divers districts, provinces, états ou pays de la région. Ce groupe se compose en général de sélectionneurs de la région se rencontrant annuellement lors d'une "conférence de travail". La justification de l'introduction dans les essais régionaux repose, en général, sur la présentation de résultats convaincants d'essais de rendements, indiquant une supériorité en station, ou au niveau de l'état, et sur la disponibilité de semences en quantité suffisante pour les essais à l'échelle régionale.

Les tests, à l'échelle de l'état ou de la région, se poursuivront sans doute pendant deux ou trois ans, bien qu'une seule saison puisse suffire pour les lignées sortant de l'ordinaire. La décision de pour-

suivre, ou non, les essais doit être prise après chaque campagne (celle-ci est le fait du groupe, lors de la conférence de travail, dans le cas d'essais régionaux). Les lignées ayant satisfait aux essais à l'échelle de l'état, puis de la région peuvent alors être vulgarisées, selon la nomenclature appropriée pour les variétés et les hybrides vulgarisés.

La désignation d'un hybride doit être simple. Le plus souvent, un mot n'ayant pas plus de deux syllabes, aisément épilé et prononcé. Ces dénominations tendent souvent à indiquer l'adaptation à une région ou saison de culture. C'est ainsi que le Coordinated Maize Improvement Scheme (Inde) a choisi les noms de Ganga et Deccan pour indiquer les zones assez vastes dans lesquelles ces maïs sont bien adaptés. De plus, la couleur de l'endosperme s'identifie par des nombres impairs pour les jaunes et pairs pour les hybrides blancs. Comme part de la dénomination régionale, la précocité est indiquée, en gros, par un numéro à un chiffre pour les hybrides hâtifs et à trois chiffres pour les hybrides tardifs. La région d'adaptation indiquée par le nom soulève parfois certaines difficultés (ainsi, l'hybride Ganga Makka n°3 : le nom de Ganga suggère son adaptation à la plaine gangétique; cependant, il se peut que cet hybride s'adapte bien à d'autres régions où l'on a besoin d'un maïs hybride précoce).

Si l'on souhaite une dénomination par régions, il doit s'agir de régions assez étendues. Les maïs hybrides vulgarisés par le Southern Corn Improvement Conference des Etats-Unis sont dénommés "Dixie". Dans le cas des hybrides de sorgho, les sélectionneurs ont adopté la dénomination RS (Regional Sorghum) suivie de chiffres caractérisant les différents hybrides : RS 630, etc. Les chercheurs indiens travaillant sur le sorgho emploient les lettres CSH pour désigner les sorghos hybrides. "C" signifie coordonné et indique l'adaptation régionale (tout en rendant raison à la participation régionale au programme), "S" signifie sorgho et identifie la plante, "H" signifie hybride et a été retenu comme terme de prestige, valorisant. Le premier hybride de sorgho a été vulgarisé en Inde en octobre 1964. Comme l'hybride représente une innovation, c'est un bon moyen de promouvoir de meilleures techniques de culture, l'amélioration de la fertilité du sol, de la protection des cultures, de la conduite de l'irrigation, de la lutte contre les adventices, etc. L'idée est de vulgariser un hybride en même temps qu'un ensemble de techniques.

A la suite des lettres CSH, figure un nombre, suivant l'ordre chronologique de l'inscription au catalogue des variétés vulgarisées (CSH-1, CSH-2, etc).

Une série de chiffres caractérisant l'adaptabilité,

et permettant d'indexer les hybrides en classes, peut avoir son utilité. Une telle série pourrait être :

- 100 — précoce;
- 200 — semi-précoce;
- 300 — de demi saison;
- 400 — semi tardif;
- 500 — tardif.

Les noms des cultivars de sorgho (c'est-à-dire des variétés en culture) vulgarisés en Inde comprennent souvent une notation identifiant une station, par exemple Co pour Coimbatore ou N pour Nandyal. On fait également appel à des noms de variétés (par exemple : M 35-1, où le M vient du nom Maldandi), d'un usage courant aux Etats-Unis : Combine Kafir 60, Early Hegari, Ryer Milo, etc. Les lignées autofécondées utilisées aux Etats-Unis comme parents pour les hybridations de maïs peuvent porter des noms d'états (tels que Oh43, où Oh signifie Ohio); certaines lettres peuvent également être utilisées par certains états comme H52 pour l'Indiana et B14 par l'Iowa, de sorte que ces lettres représentent ces états.

Certaines lignées et certains hybrides sont considérés dignes d'être inscrits au catalogue et vulgarisés par des comités d'états, et d'autres de l'être à l'échelle de la région. Les notations de pedigree peuvent varier. Ainsi, par exemple, la désignation CSH-1 est utilisée pour un hybride vulgarisé à l'échelle régionale en Inde. Les parents sont Combine Kafir 60 et IS 84; la nomenclature de ces deux parents est encore en usage. Il ne serait pas souhaitable de rebaptiser Combine Kafir 60 puisqu'il s'agit d'une lignée issue de la Texas Agricultural Experiment Station, aux Etats-Unis. Le pedigree IS 84 a été assigné comme numéro d'introduction à un matériel végétal issu des premières descendances d'un croisement.

On pourrait désigner cette lignée sous un autre nom, par exemple CS-1 pour Coordinated Sorghum Line n°1 ou celui d'une station, par exemple, P-1 ou P184 d'après le Pusa Institute (Indian Agricultural Research Institute).

Il est suggéré que les lignées parentales des hybrides vulgarisés dans une région se voient attribuer une nomenclature identifiant la région (CS-1) et que les variétés régionalement vulgarisées reçoivent également un nom indicatif de la région.

Les cultivars ordinaires, ou les hybrides et leurs lignées génitrices, vulgarisés à l'échelle d'une région, devraient être identifiés à ce niveau. Ces matériels portent souvent des noms de stations, ou d'états qui peuvent avoir de fortes résonances,

favorables ou non, sur les gens d'ailleurs. (Les paysans, les politiciens, les administrateurs, etc., semblent favoriser, de façon consciente ou non, les noms locaux—un nom de l'Indiana en Indiana sera préféré à un nom de l'Illinois, ou un nom Andhra en Andhra Pradesh plutôt qu'un nom du Maharashtra même si le matériel végétal provenant de l'Indiana ou du Maharashtra est supérieur. C'est ainsi que l'emploi de noms de stations ou d'états peut affecter négativement la diffusion du meilleur matériel végétal.

Certains systèmes de dénominations ne mettent en oeuvre ni noms de stations ni nom d'états. L'utilisation des notations H et B pour les lignées de maïs autofécondées de l'Indiana et de l'Iowa ne présente aucun rapport avec les noms respectifs de ces deux états. Le nom de Combine Kafir évoque peu le nom de l'état du Texas, dans lequel il a été vulgarisé. Des hybrides de maïs sucrés des Etats-Unis portent des noms tels que Indian Chief (Chef Indien) ou Golden Cross Bantam (Bantam Croix dorée). Le nom de Ranjit a été attribué à un maïs hybride. C'est celui d'un héros indien des temps révolus.

Des mots "accrocheurs", assez parlants, donnent des noms valables qui aident beaucoup à lancer régionalement une lignée ou un hybride.

La mention des noms de la localité et de l'état peut se justifier en hommage au chercheur qui a créé la lignée. On estime, cependant que les inconvénients en outrepassent les avantages et qu'il y a lieu de rechercher d'autres noms. Mieux vaut compter pour assurer convenablement son mérite sur diverses publications, et surtout sur l'utilisation généralisée de la lignée ou de l'hybride.

Objectifs et méthodes de croisements

Sélection généalogique

Méthodes de pollinisation

La pollinisation, pour une plante essentiellement autogame telle que le sorgho se borne souvent tout simplement à ensacher la panicule, avant sa floraison, pour éviter toute fécondation croisée. Les croisements sont cependant un peu plus compliqués. On examine ici les méthodes à mettre en oeuvre pour réaliser, en grands nombres, de tels croisements.

On peut faire entrer dans un programme de croisements des matériels végétaux très

hétérogènes provenant soit de collections, soit de populations en ségrégation. Il est fréquent que les souches génétiques introduites montrent une certaine variation, soit parce qu'il s'agit de descendance précoce d'un croisement, et/ou soit parce que des lignées uniformes dans leur aire d'origine peuvent montrer une certaine variabilité lorsqu'on les cultive dans un nouvel environnement. Le taux de fécondation croisée, chez certains sorghos varie le plus souvent de 1 à 10%, et chez d'autres de 30 à 60%, cette variation dépendant essentiellement de la compacité de la panicule, les types herbacés à panicules lâches étant davantage aptes à l'allogamie. Le sorgho est cependant généralement considéré comme une plante autogame ayant un taux d'allogamie inférieur à 10%. Lors de la culture de souches d'une grande variabilité, il n'y a pas intérêt à pratiquer l'ensachage des panicules.

On pourrait en effet, après avoir ensaché, au prix de beaucoup de temps et de travail, des milliers de panicules, arriver à en éliminer 95% à maturité. Il est plus simple d'épurer au champ, pendant une ou deux générations, et d'éliminer les plantes "hors type" provenant d'un croisement accidentel, plutôt que de pratiquer l'ensachage. Il est ainsi préférable de ne pas ensacher les panicules, et de faire porter la sélection sur un nombre d'individus beaucoup plus élevé. C'est la sélection qui joue le rôle le plus important lorsque la variabilité est élevée.

Les plantes choisies dans différentes collections ou populations finissent par devenir uniformes et, si leur rendement est bon, il est possible de les introduire dans des essais de rendements. Lorsque l'on souhaite obtenir, et maintenir l'uniformité de ces lignées élite l'ensachage des panicules est efficace. Une fois prise la décision d'y avoir recours, il faut le pratiquer sur toutes les panicules d'un rang. Cette recommandation se base sur plusieurs raisons : la sélection individuelle en parcelle lors de la floraison n'est pas efficace (l'auteur l'ayant une fois essayée n'a eu que 20% de résultats corrects par rapport aux sélections réalisées à maturité). Les panicules ensachées ne se développent pas toujours aussi bien que celles qui ne sont pas ensachées. Si donc l'on n'ensache qu'une partie d'une rangée, on aura, à maturité, tendance à sélectionner les panicules non ensachées, de meilleure apparence. L'ensachage de l'ensemble du rang évite ce genre de problèmes.

Il y a lieu de n'ensacher que la partie des panicules qui n'a pas encore fleuri. Au cas où une panicule aurait commencé à fleurir, les épillets en fleur doivent être éliminés, tout en s'attachant à limiter cette pratique au minimum, en particulier pour la sélection en parcelle, car on aura toujours tendance à

écarter, lors de la sélection, les panicules dont il ne subsiste qu'une partie.

L'ensachage des panicules permet de lutter efficacement contre la cécidomyie (*Contarinia sorghicola*) qui pond à l'intérieur des épillets juste avant la floraison. Réalisée à temps, le succès de cette mesure peut atteindre 100%. Au cas où *Contarinia* serait un risque grave il est intéressant d'ensacher même des populations en cours de ségrégation.

Les sachets doivent être posés rapidement. Un ouvrier entraîné, avec un ou deux aides constitue une équipe efficace. Le premier met les sachets en place, les autres les ferment et les agrafent. La feuille paniculaire de la plante est en général coupée avant la mise en place du sachet. Si le nombre d'ouvriers qualifiés est faible par rapport à celui des aides, les premiers couperont les feuilles paniculaires, tandis que l'un des aides placera le sachet et que les deux autres l'agraferont (cette méthode a permis, en Inde, à trois ouvriers qualifiés et à une équipe d'assistants d'ensacher 12 000 panicules en une journée). Au cours de ce travail, il est possible que quelques-unes des panicules choisies soient omises. On minimisera ce risque en évitant que les équipiers ne s'écartent trop les uns des autres. Le nombre de panicules traitées est si grand par rapport aux autres techniques, qu'il compense largement l'oubli de quelques panicules (on a fréquemment utilisé de 30 000 à 50 000 sachets par collection dans le programme de l'Inde. Lors de la mise en culture de la collection mondiale on utilise près de 100 000 sachets).

Sélection généalogique

La sélection généalogique est une méthode basée sur la culture de panicules-lignes. Une panicule est prélevée sur une plante choisie dans une parcelle. Les grains de cette panicule sont semés, l'année suivante, sur une ligne d'une parcelle de sélection, et le processus se répète jusqu'à ce que la lignée soit éliminée, ou s'homogénéise. Dans ce dernier cas, on la récolte en bulk. c'est-à-dire que l'on mélange les grains provenant de l'ensemble des plantes constituant la ligne.

Dès qu'une homogénéité raisonnable est atteinte, il y a lieu de faire participer les lignées issues de ce processus à des essais de rendement. Ce serait un gaspillage de temps et de moyens que de retarder le passage en essais jusqu'à l'obtention de l'uniformité des lignées. On peut ainsi, en règle générale commencer les tests à partir de la F_4 ou de la F_5 .

La pression de sélection applicable dépend du

soin apporté à la conduite de la culture. Meilleure elle est, meilleures sont les possibilités de sélection. On introduira d'autant plus de lignées dans une parcelle de sélection que sa conduite sera médiocre et qu'il sera difficile de l'observer de façon rigoureuse. Les progrès obtenus en sélection sont d'autant plus rapides que les parcelles sont mieux conduites.

Une parcelle de sélection généalogique comporte en général de 800 à 1500 numéros. Elle ne comporte d'habitude aucune répétition, et, le plus souvent, chaque lignée occupe un rang de quatre à cinq mètres de long. (Les données à enregistrer figurent au chapitre correspondant, mais une recommandation générale pour le sélectionneur est qu'il s'efforce d'accroître le nombre d'individus examinés plutôt que d'accumuler les données sur un nombre restreint d'individus).

Méthodes d'acquisition des données

Les notes enregistrées en parcelles de sélection varient avec l'organisation et les objectifs de la parcelle. Une parcelle extrêmement hétérogène, (constituée d'introductions non sélectionnées) ne demandera habituellement que peu de notations. Le seul enregistrement nécessaire pour une population F_2 issue de parents divers peut n'être que celui de la sélection réalisée, c'est-à-dire que le seul travail opéré dans une telle parcelle doit être de sélectionner plante par plante. Les seules notes nécessaires sont celles qui indiquent les individus à multiplier et ceux à éliminer. Au fur et à mesure que la sélection avance, il faut enregistrer davantage de données : vigueur de la levée, cycle végétatif pour 50% de floraison, hauteur de la plante, verse (si grave), attaques graves d'insectes ou de maladies, etc. Si les parcelles ont des objectifs particuliers, de classification par exemple, les caractères correspondants doivent alors être mesurés.

Il est souvent possible de gagner du temps lors de l'enregistrement des données. Le relevé des cycles semis-floraison à 50% peut être effectué tous les deux ou trois jours pendant la période de floraison. L'estimation visuelle du moment où le rang est fleuri à 50% suffit. La hauteur de la plante est la distance entre le sol et l'extrémité de la panicule. Une moyenne estimée "à vue" convient pour la plupart des utilisations pratiques. La mesure de 5 à 10 plants, et le calcul de la moyenne, donnent une précision supérieure à celle qu'exige en général l'utilisation de ces données. La verse peut faire l'objet d'une estimation. On différencie facilement

entre une verse de 0 et de 10%, mais pas entre 50 et 60%; on peut cependant établir une échelle d'utilisation plus facile pour les estimations à vue (0 à 10%, 10 à 25%, 25 à 50%, 50 à 75%, 75 à 90%, 90 à 100%, par exemple). Les estimations d'après une telle échelle sont aisées et suffisantes pour des objectifs de sélection courants. La vigueur à la levée, la résistance aux insectes et aux maladies peuvent faire l'objet d'une notation numérique, en général de 1 à 5, 1 correspond à la résistance maximum et 5 à la moindre.

Le choix des individus à multiplier et de ceux à éliminer, dans une parcelle de sélection, peut se baser sur l'analyse de toute une gamme de données. La décision peut être également basée sur l'observation poussée des plantes sur le terrain durant toute la campagne (et particulièrement à la récolte). L'auteur estime la seconde, méthode bien préférable. Les notations en usage pour la vigueur à la levée sont d'un intérêt limité, c'est-à-dire qu'elles ne servent que pour la sélection au sein d'une collection de variétés très diverses. Au fur et à mesure que la sélection avance et que les variétés médiocres sont éliminées, les notes tendent vers une moyenne. Par exemple, si la note 1 correspond à la vigueur maximum et 5 à la plus faible, après quelques cycles de sélection, toutes les notes iront de 2 à 3, ce qui présente guère d'utilité.

Une série de symboles de travail peut indiquer le traitement réservé à chaque numéro. Ceci se fait lors de la récolte, d'après l'avis du sélectionneur. L'auteur a utilisé avec profit le système suivant, bien qu'il ait certaines limitations. Un jeu de cinq lettres indique le traitement qu'il y a lieu d'appliquer aux différentes lignées participants à un programme de sélection pour la création d'hybrides.

La lettre "U" signifie que le rang est bon et uniforme, qu'il y a lieu de le récolter en bulk et de le resemer dans la parcelle de croisements en contre-saison. L'hybride sera introduit dans le, ou les essais de rendements, de la campagne correspondante suivante, et la lignée ressemblée en collection.

La lettre "A" indique que le rang est acceptable, mais pas totalement homogène. On y sélectionne quelques panicules, une partie des grains de chacune étant semée, en mélange, sur un rang de la parcelle de croisements en contre-saison. L'hybride correspondant entre dans le, ou les, essais de rendements de la campagne correspondante suivante et les semences de chaque panicule sont reconduites en panicules-lignes, l'année suivante, dans la collection de sélection.

La lettre "S" indique que le rang est sélectionné mais pas assez uniforme pour figurer dans la par-

celle de croisements. On sélectionne certaines panicules, qui seront conduites en panicules-lignes l'année suivante.

La lettre "R" indique que le rang doit être reconduit, ressemé à partir des semences restantes, durant la même saison de culture l'année suivante. Cette notation signifie que le rang n'a pas eu une croissance correcte, de sorte que son potentiel réel ne peut être déterminé.

La lettre "D" (pour "discarded") indique que le rang doit être éliminé.

Les lettres "S", "R" et "D" peuvent aussi s'utiliser dans un programme d'amélioration variétale. D'autres symboles utiles sont "Y" signifiant la récolte en bulk d'une variété à introduire en essais de rendements; "CB" pour une variété à introduire dans une parcelle de croisements ("crossing block"); "NR" commande la récolte en bulk d'une variété à introduction dans des collections ou des essais de rendements régionaux; "com." indique que l'inclusion de la variété dans un composite devrait être envisagée. Le symbole "Ø" représente une autofécondation, les symboles "#" ou "θ" dénotent des sibs. Les sélectionneurs imagineront aisément d'autres symboles correspondant à leurs besoins.

Les nombres de panicules notées "A" ou "S" figureront entre parenthèses dans le registre de terrain après cette notation. Ainsi, A(5) signifie que cinq panicules ont été prélevées sur des plants sélectionnés et que la collection de l'année suivante comportera cinq rangs, et un dans la parcelle de croisement en contre-saison; l'hybride correspondant sera en essais de rendement l'année suivante. Une notation de ce genre permet de planifier un an à l'avance les collections et les essais de rendement. Ce genre d'information facilite la préparation des lots de semences et des registres de terrain. L'important est que les notations reposent directement sur des observations au champ et qu'elles soient opérationnelles plutôt que purement descriptives.

Ce système n'est efficace que s'il va de pair avec un criblage au champ rigoureux, les lignées défectueuses étant rapidement éliminées de la collection d'après les résultats des essais de rendements, de façon à éviter la répétition de leurs essais. Par contre, le test des meilleurs hybrides doit nécessairement être répété plusieurs fois avant leur inscription au catalogue, de sorte qu'il est sans inconvénients de voir figurer en essais, pendant plusieurs saisons successives, un symbole "A" ou "U", indiquant que les essais doivent se poursuivre. Si l'on ne peut aboutir à une décision au sujet de la valeur d'un hybride et de ses parents, il y a lieu d'éviter la poursuite des essais. Il peut se présenter des cas où il est

souhaitable de maintenir une lignée "A" ou "U" en collection de travail, mais sans la faire participer aux essais de rendement. Ceci peut être signalé par un symbole particulier.

L'uniformité du système de notation est particulièrement utile pour un programme coordonné à l'échelle nationale.

Sélection

L'amélioration variétale est à la fois un art et une science. L'art consiste en grande partie dans les processus de sélection mis en oeuvre. Il est difficile de quantifier ce qui fait qu'une lignée est retenue et une autre ne l'est pas. Le sélectionneur choisit d'après son expérience, les objectifs de son programme et l'aspect visuel de la plante qu'il examine; la sélection comporte une importante composante subjective.

Elle revêt deux aspects—l'un consiste à créer des variétés élite et des géniteurs pour les hybridations—l'autre à maintenir et même à accroître la diversité du matériel végétal de base. Le premier exploite rapidement la variabilité, le second engendre une variabilité nouvelle. Il importe que le sélectionneur soit bien conscient de ces deux facettes de son travail. Les critères de sélection varient selon l'endroit et le but poursuivi. On peut dresser une liste de nombreux caractères impliqués dans le processus de sélection. Le sélectionneur intègre, de façon presque subconsciente, beaucoup d'entre eux lors du jugement qu'il porte sur un pedigree. La généalogie est utile à connaître, car on sélectionnera davantage dans les descendance successives d'un croisement dont l'un des parents est connu comme ayant une bonne aptitude à la combinaison. L'aspect phénotypique est également important.

Les panicules de type 2E, 3E, 3D, 4D et 6, par exemple, ont en général un meilleur rendement et une meilleure aptitude à la combinaison que celles de type 1, 2D, 5, 7, 8 et 9 (voir page 200); on sélectionnera donc davantage parmi celles-là que parmi celles-ci. Voici une liste de caractères dont l'un ou la combinaison de plusieurs d'entre eux peuvent faire l'objet de sélection à un moment donné (voir aussi : les descripteurs du sorgho, à l'Annexe 2).

Critères généraux :

- haut rendement (bonne réponse à la fumure);
- bonne adaptabilité à l'environnement;
- résistance aux insectes et aux maladies;
- pas de verse;
- cycle végétal convenable;

- vigueur correcte des plantes pour une densité au champ raisonnable;
- bon égrenage;
- aspect général attrayant;
- hauteur de 1,25 à 2 mètres
- panicules volumineuses;
- bonne exsertion des panicules;
- panicules ni trop compactes ni trop lâches;
- panicules dressées plutôt qu'incurvées;
- bon tallage avec maturation simultanée des panicules;
- bonne mise à graines;
- grains nombreux et de taille convenable.

Qualité du grain :

- pour l'alimentation humaine, satisfaction des exigences en matière de coloration, de dureté, de brillant, de goût, de conservation, donne une pâte convenable, etc.
- en tant qu'aliment des hommes ou du bétail, une teneur élevée en éléments nutritifs et une bonne conservation (les grains durs sont moins attaqués par les charançons).
- en tant qu'aliment du bétail, digestible et bien appété.

Caractéristiques de la plante :

- en zones arides : résistance à la sécheresse, cycle végétatif relativement court, tolérance aux températures élevées.
- en zones humides : résistance à l'altération et à la moisissures des grains, développement normal des épillets des ramifications inférieures de la panicule (leur nombre peut être réduit et ceux présents peuvent être femelles-stériles), panicules peu denses laissant pénétrer l'air et la lumière.
- en tant que plante fourragère : feuillage abondant, bon tallage, tiges fines, sève abondante, sucrée, rendement raisonnable en grain, bonne appétence et bonne digestibilité, teneur en HCN faible.

Autres critères :

- bonne faculté de repousse;
- résistance aux oiseaux;
- plantes de couleur brune;
- glumes courtes et coriacées;
- résistance au *Striga*;
- vigueur à la levée;
- résistance au froid;
- système racinaire bien développé;
- grains à dormance courte.



(1) Parcelle de croisement (crossing block) dans laquelle 15 000 pollinisations croisées ont été pratiquées sur des plantes mâles-steriles. (2) Partie d'une parcelle de croisement dans laquelle 3 000 pollinisations croisées ont été réalisées sur des panicules castrées à la main. (3) Panicule mâle-sterile en fleurs, ne portant aucune anthère, même rudimentaire.

L'hybridation du sorgho

Le sorgho est une plante monoïque (c'est-à-dire que ses fleurs sont bisexuées); ainsi l'hybridation impose de retirer les anthères de chaque épillet avant leur déhiscence. L'hybridation n'est possible, à l'échelle de la parcelle, que par l'utilisation d'une interaction génome-cytoplasme conférant une stérilité mâle. Un grand nombre de gènes donnent, chez le sorgho, ce type de stérilité. L'emploi raisonné de la stérilité génétique ou cytoplasmique facilite l'incorporation des caractères souhaités dans les lignées intéressantes.

Les croisements entre lignées normalement mâles-fertiles peuvent être réalisés grâce à (1) la castration manuelle ou (2) un traitement à l'eau chaude ou par l'utilisation de sachets en plastique.

La mise en pratique de ces techniques demande une certaine habileté. Les épillets risquent beaucoup d'être abimés lors de la castration à la main, ils ne donneront alors pas de grains, ou il peut y subsister des morceaux d'anthère, ce qui aboutit à une autopolinisation. L'utilisation de l'eau chaude exige que la panicule soit trempée pendant le temps, et à la température voulue, afin que les organes mâles, mais non les organes femelles, soient tués.

Les variétés réagissent de façon différente à cette technique; de sorte qu'elle ne peut pas avoir la même efficacité sur toutes les lignées d'une parcelle de croisements.

Choix des parents pour l'hybridation

Le nombre des plantes retenues dans les descendance successives d'un croisement varie avec les parents utilisés pour celui-ci. Pour certains on ne trouve que peu de bonnes plantes sélectionnables dans les F_2 , F_3 , etc. Parfois, l'on prend certaines lignées comme parents en raison de quelque caractère important; on y fait appel dans ce cas même s'il est ensuite difficile de sélectionner de bonnes plantes dans les descendance. Généralement, cependant, il conviendra de choisir des lignées ayant montré une bonne aptitude générale à la combinaison, en test-cross, comme illustré au Tableau 4.13.

Dans cet exemple, les lignées 2 et 4 montrent la meilleure aptitude à la combinaison et ont comme parents, un meilleur potentiel que celui des lignées 1, 3 et 5.

Une autre méthode consiste à dresser la liste des parents représentés dans les parcelles des des-

Tableau 4.13: Utilisation des résultats de test-cross pour le choix des parents à croiser.

Testeur	Rendement en kg/ha des lignées					--n
	Lignées					
	1	2	3	4	5	
A	1503	3057	2532	4170	1875	
B	1704	3100	1908	3875	2560	
C	982	3750	2324	3545	2810	
D	1935	3270	2705	4080	2090	
Moyenne	1540	3294	2367	3917	2321	

descendances F_2 , F_3 , etc., et à déterminer le nombre de choix réalisés impliquant chaque parent. Supposons que l'on examine une parcelle de F_2 comportant des croisements mettant en oeuvre les parents 1, 2, 3, 4, 5, ...n. La situation se présente, par exemple, de la façon indiquée au Tableau 4.14.

Cet exemple montre que le plus grand nombre de sélections a été réalisé dans les descendance des croisements où la lignée 6 est intervenue comme parent et le plus petit nombre pour la lignée 1. On peut en conclure que la lignée 6 présente un grand intérêt pour un programme de croisements, que les lignées 2, 3, 7 et 8 ont une certaine valeur et que les lignées 1, 4 et 5 ne devraient être mises en oeuvre que si elles sont porteuses d'un caractère spécialement recherché.

Facteurs influençant la longueur de la période allant du semis à la floraison

Intervalle de semis : lorsque la longueur du cycle semis-floraison de toutes les lignées de la parcelle de croisements est connue pour le lieu, et la saison de culture, les parents de chacun des croisements prévus sont semés en rangs adjacents. La date de semis de l'un d'eux est ajustée de façon à ce que les floraisons soient simultanées (on dit que les parents "tombent à pic"). Si l'on ne connaît pas la longueur du cycle semis-floraison, il y a lieu de faire deux à cinq semis échelonnés de chaque parent en une même parcelle, de façon à pouvoir réaliser les croisements souhaités. L'accouplement deux à deux des rangées correspondantes demande plus de terrain mais permet une gestion aisée. Le groupement en une seule parcelle de tous les parents exige, au moment de la fécondation, l'enregistrement de davantage de données. Les deux techniques sont satisfaisantes.

Tableau 4.14: Croisements d'une parcelle de F₂ mettant en oeuvre les parents 1,2,3,4,5 ... n.

Parents	Parents								--n
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Nombre de plantes retenues								
1		1		1	1				1
2			2	3	2	4	1		
3					1		2	1	
4					1	4	2	2	
5						4		2	
6							3	5	
7								2	
8									
"									
"									
n									

On peut alors dresser la liste suivante des lignées, et des plantes retenues dont elles sont parentes :

	Nbre de croisements réalisés (I)	Nbre de descendants retenus (II)	Rapport (II/I)
1	4	4	1,0
2	6	13	2,2
3	3	6	2,0
4	6	8	1,3
5	7	11	1,6
6	5	20	4,0
7	4	10	2,5
8	6	13	2,2
"			
"			
n			

Photopériode et température : la longueur du cycle semis-floraison diffère beaucoup, pour la plupart des variétés, selon la date de semis, la conduite de la culture, la latitude et la température. D'une façon générale, les floraisons des différentes lignées seront plus rapprochées si le semis a lieu quand les jours raccourcissent: cependant qu'elles divergeront davantage dans le cas contraire.

A la latitude approximative de 12°N, les floraisons sont à peu près simultanées pour des semis entre juillet et décembre, les plus rapprochées correspondant à des semis réalisés en fin novembre et en décembre. Les dates de floraison s'écartent pour les semis de fin mars et d'avril. Certaines lignées

semées en avril restent à l'état végétatif jusqu'en septembre. La température joue un rôle important, le sorgho poussant très lentement au-dessous de 15° C. Les croisements réalisés à 40° C (avec une humidité faible) ne viennent généralement pas à graine. En zones tempérées, ainsi qu'aux altitudes élevées sous les tropiques, la culture du sorgho n'est en général possible que durant une seule saison, cependant que, en milieu tropical chaud on peut le semer pratiquement à tout moment. Les températures de 25 à 30° C conviennent très bien. Les croisements, particulièrement à la suite de castration manuelle, sont fastidieux. Une température agréable permet de réaliser un meilleur travail. La pluie joue également un rôle important. Les pluies continues au moment de la floraison rendent le travail plus difficile et amènent la perte de certains croisements. De même, les pluies excessives et l'humidité lors de la maturation peuvent abîmer les grains et amener des pertes de viabilité.

L'époque idéale pour le semis d'une parcelle de croisements au Sud-Est asiatique va d'octobre à novembre; la température est agréable, les jours vont en raccourcissant et il ne pleut que peu ou pas du tout de la floraison à la maturité (il est nécessaire d'irriguer). C'est l'inverse au Proche-Orient où les froids hivernaux rendent la culture impossible. Cependant, les étés secs sont idéaux pour l'hybridation.

Pour assurer la coïncidence des floraisons de deux parents, il est souvent nécessaire de les semer à des moments différents. Si, cependant, leurs dates de floraisons n'ont qu'un écart de six jours, par exemple, les semis peuvent parfois être plus éloignés. C'est ainsi que dans une parcelle implantée à Pakchong, en Thaïlande (12°N), des semis furent réalisés à intervalles de 12 jours, les 4, 16 et 28 décembre. Cependant, il n'y eut que de 4 à 8 jours d'écart entre les dates de floraison à 50%. Si les semis avaient été réalisés début mars, les écarts de floraison auraient bien pu dépasser 12 jours pour certaines lignées. Lorsque l'on sème toute la semence d'un seul parent en une même parcelle, il faut échelonner les semis à des intervalles suffisants pour pouvoir réaliser tous les croisements souhaités. Par exemple, pour les semis faits en décembre mentionnés plus haut, on a réalisé trois semis à douze jours d'intervalle. Par contre, pour un semis au début de mars, il aurait fallu cinq semis successifs, à des intervalles croissants de 5, 8, 10 et 12 jours. Il est à prévoir, les variétés sensibles au photopériodisme devant fleurir assez tard, de semer plus tard les variétés précoces insensibles au photopériodisme.

Choix du terrain

Lors de la floraison, l'activité est incessante. Il faut être aux champs tout le jour, et tous les jours. Ainsi, un dispositif compact est-il le plus commode (un terrain carré convient mieux qu'un rectangle allongé). Comme il est souvent nécessaire d'irriguer au moment de la floraison, alors que le personnel est aux champs, il est avantageux d'avoir un terrain bien drainé et pas boueux.

Dose de semis

On s'efforce d'obtenir des panicules aussi grosses que possible. La fumure minérale doit être abondante (150 kg d'azote à l'hectare, et les quantités nécessaires d'autres éléments). Les parents doivent être très espacés : de 0,75 à 1 m entre rangs et 0,3 m entre plants, ce qui permet d'avoir des panicules plus grosses.

Plus on obtient de semences à partir de chaque

croisement, moins on en a faire, ou plus de croisements différents on peut réaliser à chaque campagne. Les opérations de croisement exigent beaucoup de main-d'oeuvre, et le large espacement des plantes facilite beaucoup les opérations.

Croisements ne faisant pas appel à la stérilité mâle

Les croisements ayant pour but d'obtenir des F₁ en vue de créer de nouvelles variétés, ou les rétro-croisements destinés au transfert d'un caractère, se font en général sans utiliser la stérilité mâle; il faut donc avoir recours à la castration. Bien que l'on n'ait, le plus souvent, besoin que d'une petite quantité de semences, il est à conseiller d'opérer sur plusieurs plantes pour chaque combinaison, ceci tant qu'une certaine expérience n'est pas acquise.

La parcelle de croisements peut être organisée comme indiqué au Tableau 4.15 (voir aussi le chapitre relatif à la nomenclature des pedigrees, page

Tableau 4.15: Modèle de registre de terrain pour une parcelle de croisements.

Pedigree NES	Origine ZLTA	N° de parcelle	Jours jusqu'à 50% fln.*	Type	Jours de retard	Instructions pour la pollinisation
301	12	11	62	Kafir	1 à 2 sem.*	Voir rangs 16-25
305	15	12	64	Kafir	1 à 2 sem.	Voir rangs 16-25
438	23	13	59	Fet.*	1 à 3 sem.	Voir rangs 16-25
445	26	14	73	Fet.	1 sem.	Voir rangs 16-25
553	40	15	75	Shallu	1 sem.	Voir rangs 16-25
101	601	16	80	Kafir		sur ou x's 13(3) 14(3) 15(3)
432	640	17	55	Kafir	2 à 4 sem.	sur ou x's 13(3) 14(3) 15(3)
436	642	18	62	Kafir	2 à 3 sem.	sur ou x's 13(3) 14(3) 15(3)
1209	803	19	65	Fet.	1 sem.	sur ou x's 11(3) 12(3) 15(3)
1354	859	20	73	Fet.		sur ou x's 11(3) 12(3) 15(3)
1386	864	21	69	Fet.	1 sem.	sur ou x's 11(3) 12(3) 15(3)
1401	901	22	62	Shallu	2 à 3 sem.	sur ou x's 11(3) 12(3) 13(3) 14(3)
1405	903	23	60	Durra	2 à 3 sem.	sur ou x's 11(3) 12(3) 13(3) 14(3) 15(3)
1406	904	24	80	Durra		sur ou x's 11(3) 12(3) 13(3) 14(3) 15(3)
1525	1033	25	65	Durra	1 à 2 sem.	sur ou x's 11(3) 12(3) 13(3) 14(3) 15(3)

* Fet. = Feterita, sem. = semaine, fln. = floraison.

85). Il est à noter que les retards de semis sont indiqués (c'est-à-dire que les lignées parentes sont semées à différentes dates de façon à ce que quelques plantes de chacun des parents destinés à être croisés fleurissent en même temps).

Il faut trois fécondations croisées par combinaison. Le fait de croiser 13×16 ou 16×13 est sans importance. La notation "sur ou x's" ("on or x's") indique que les croisements réciproques sont acceptables.

Ce modèle est rédigé comme si les rangs numérotés 11 à 15 différaient en quelque sorte des rangs 16 à 25, de sorte que les croisements à l'intérieur de ces groupes ne soient pas souhaitables. Une telle situation peut se présenter si, par exemple, les lignées 11 à 15 ont le gène correspondant à une teneur élevée en lysine. Sinon, il n'y a aucune raison de ne pas réaliser les croisements 16×19 ou 15×11 , en fonction des objectifs poursuivis.

La seule limitation à respecter porte sur le type des parents à croiser, c'est-à-dire qu'il ne faut pas croiser Kafir par Kafir, Feterita par Feterita, etc.

On ne croise en général que des lignées relativement uniformes quoique ce ne soit pas indispensable. Les parents sont choisis en fonction de leur excellence agronomique et de phénotypes suffisamment différents pour augmenter la variabilité génétique. Les croisements entre lignées indigènes sélectionnées et introductions exotiques prometteuses sont de bons exemples de cette façon de procéder.

On peut aussi faire des croisements pour introduire un nouveau caractère, tel que la stérilité mâle, ou une teneur en lysine élevée, mais ce type de croisement mène en général à un programme de rétrocroisements plutôt qu'à la sélection de lignées nouvelles.

Si les parents sont homozygotes, la génération F_1 l'est aussi. La ségrégation ne commence qu'à la F_2 . Des rangs de 2 à 5 m de long dans les parcelles de sélection suffisent en général pour passer de la F_1 à la F_2 ; cependant, il faut que la F_2 comporte au moins 300 plantes. Si elle se réduit à un rang de, disons, cinq mètres, il n'y a pas assez de plantes pour observer l'étendue de la variabilité de la population. Quand il y a plusieurs populations F_2 à cultiver, il peut être plus facile d'avoir un rang de cinquante mètres de long que dix rangs de cinq mètres. On gagne ainsi de la place en évitant les allées.

On sélectionne dans la F_2 des plantes choisies une à une dont la multiplication donne la F_3 . Il est possible que certaines F_2 ne permettent aucune sélection (elles sont alors éliminées), alors que d'autres en fournissent beaucoup. Le sélectionneur

doit faire appel à toute sa sagesse, mais il n'y a aucune raison de conserver, par routine, quelques plantes de chaque F_2 . Il est conseillé de cultiver des F_3 d'au moins cent plantes car la variabilité y est encore élevée. Le volume de la population peut être réduit à trente ou cinquante plants au cours des générations suivantes. Il vaut mieux commencer les essais de rendements de façon précoce, à la F_4 , ou F_5 , même si les parcelles ne sont pas aussi homogènes que cela serait souhaitable.

Du fait que la sélection au sein de la F_2 (et dans certains cas de la F_3) se fait par des choix individuels au sein d'une population hétérogène, il y a lieu de cultiver à des espacements supérieurs à la normale (0,25 à 0,3 m sur le rang entre plantes) pour favoriser l'expression individuelle de chaque plante.

Castration manuelle

Dans le cas d'un vaste programme de croisements (500 ou plus), il faut une équipe pour les castrations, et une autre pour opérer les fécondations et tenir les documents de terrain à jour. Une personne raisonnablement expérimentée peut castrer de quinze à vingt-cinq panicules par jour. (Il faut à peu près une semaine pour former un ouvrier à cette besogne). Avec une équipe de dix personnes pour les castrations, il suffit de trois employés pour faire les croisements et les enregistrer. Il est nécessaire de former de telles équipes avant le démarrage de programmes de croisements à grande échelle. Celles-ci devraient rester disponibles au cours de plusieurs saisons pour éviter la nécessité d'une nouvelle formation avant chaque nouvelle campagne.

Matériel nécessaire

Les outils que demande la castration manuelle ne sont pas compliqués, mais il est payant d'investir dans la qualité (Planches 7-6, 7-7 et 7-8). Une forte pince de manucure, munie d'un ressort maintenant ses branches ouvertes convient pour l'habillage des panicules et suffit à tous les émondages nécessaires.

De petits ciseaux ont leur utilité pour éliminer certains épillets d'un racémule, notamment ceux qui, pédicellés, risqueraient d'émettre du pollen.

L'outil utilisé pour l'ablation des anthères peut être fait de bois ou d'un crayon à papier ordinaire (voir Planches 7-7 et 8-7); on peut aussi le faire en plantant un clou dans une baguette arrondie et en le formant à la lime (Planche 7-8).

On peut également limer à plat une aiguille à coudre, mais le résultat sera en général un peu trop étroit (Planche 7-8) à droite. La forme souhaitable est présentée par la photographie, elle a une extrémité plate, émoussée, la partie plate longue de trois à quatre millimètres, de 0,75 mm de large et épaisse de 0,25 mm à peu près. Plus la lame est mince, meilleure elle est, mais elle ne doit pas être tranchante. La pointe doit en être polie avec un papier abrasif très fin ou une pierre à l'émeri; s'il subsiste des traces d'outil sur la lame, les filaments des anthères s'y accrochent et il est difficile de les enlever. Certains opérateurs préfèrent utiliser des pinces pointues fines pour la castration. Le ressort écartant les branches ouvre l'épillet et les deux pointes de la pincette retirent les anthères.

Les sachets, transparents ou non, utilisés par les sélectionneurs de maïs, conviennent à la protection des panicules après la castration. Il faut éviter le plastique, car il est étanche et la transpiration donne un microclimat humide indésirable à l'intérieur du sachet. Il faut utiliser des trombones pour fixer les sachets sur la hampe paniculaire. Il faut éviter les agrafes, car on doit pouvoir retirer le sachet pour voir si la panicule est prête à être fécondée, et pour la fécondation elle-même. Un flacon d'alcool permet de nettoyer l'outil de castration au cas où un anthère éclaté aurait libéré du pollen adhérent à l'outil. Celui-ci est, en effet, tué par immersion de l'outil dans l'alcool. Une petite table carrée de 0,25 m environ, ou l'on dispose le matériel de travail, est utile. Un escabeau, de hauteur réglable, rend aussi le travail moins pénible. Les panicules de sorgho se situent à des hauteurs de 0,7 à 4 mètres au-dessus du sol.

Structure des fleurs

Les épillets pédicellés sont longs et minces, en général dépourvus de pièces florales. Il y en a un ou deux pour chaque épillet essentiel. Les fleurons renferment les pièces florales : un ovule portant deux pistiles saillants, munis de stigmates duveteux, dont la longueur varie entre 0,5 et 1,5 mm. Ils sont en général blancs, mais peuvent être jaunes ou roses. Le stigmate est rattaché à l'ovule par un style assez robuste (voir Planche 8-4). Trois anthères se rattachent à l'ovule par un filet très mince; on les élimine lors de la castration. Le fleuron est enclos dans deux glumes; au cours de la castration, il faut veiller à ce que la glume la plus proche de l'épillet pédicellé soit maintenue le dos tourné à l'opérateur. Lorsque l'on habille la panicule, il est recommandé

de ne conserver que les fleurons faisant face à une même direction, c'est-à-dire vers l'extérieur de la panicule. Les autres doivent être éliminés car ils sont plus difficiles à castrer, et le plus souvent, tellement abimés au cours de l'opération qu'ils ne donnent pas de grain (Planches 7 et 8).

Castration

Pour la panicule à castrer, l'habillage est à peu près aussi long que l'ablation des anthères (Planches 7 et 8). Il est préférable que la panicule ait commencé à fleurir avant la castration. La floraison dure de trois à cinq jours pour l'ensemble d'une panicule; elle commence au sommet et progresse vers la base. En général, il est préférable de castrer la partie de la panicule qui fleurira le lendemain. Dans certains cas, il vaut mieux prévoir un délai de deux jours. Une technique satisfaisante consiste, pour une équipe de une ou deux personnes, l'équipe de pollinisation, à habiller les panicules, cependant que le personnel de terrain pratique les castrations. Ceci améliore le choix des racèmes à traiter. Lorsque l'on castrer des fleurons, trois à cinq jours avant leur floraison normale, ils sont habituellement si abimés que leur floraison est nulle ou très réduite. Si l'on opère de cinq jours avant la floraison normale celle-ci ne se produit pas et la panicule est perdue. On ne laisse en général subsister que vingt-cinq à cinquante fleurons sur trois ou quatre rameaux de la panicule. Il est à conseiller d'éliminer les fleurons proches du rachis, car il est difficile de les saisir avec les doigts. On peut habiller la panicule de sorte que les fleurons restant se présentent régulièrement espacés, ou, au contraire en grappes de deux ou trois. S'il y en a davantage, les chances d'en oublier un lors de la castration augmentent. Ces anthères, s'ils ne sont pas repérés à temps vont ensuite répandre leur pollen et amener des autofécondations.

La castration se fait en saisissant le fleuron entre le pouce et l'index (Planche 8), l'épillet pédicellé étant à l'opposé de l'opérateur. L'aiguille à castrer est orientée de sorte que sa partie plate se trouve dans le plan de l'ouverture des glumes. On l'insère juste au-dessous au milieu du fleuron et on la pousse vers la glume du fond, en travers du fleuron. On la fait ensuite tourner légèrement sur elle-même, en la soulevant. Les anthères se redressent et peuvent être éliminés. Si une anthère se brise, il faut en éliminer les morceaux, avec l'ovule, qui a pu être autofécondé. Les variétés sont plus ou moins faciles à castrer. Celles à petites glumes raides sont les plus difficiles, et l'effort nécessaire peut ne pas

en valoir la peine. On utilisera, si possible, ces types variétaux comme donneurs de pollen.

Les types à grandes glumes souples sont les plus faciles à castrer. Parfois, les pistils sont soulevés avec les anthères. Lorsque cela arrive on peut les repousser à l'intérieur du fleuron après l'ablation des anthères (les autres panicules seront habillées en choisissant des ramifications situées plus bas, de façon à ce qu'elles fleurissent deux jours plus tard).

L'équipe de pollinisation doit repérer chaque jour les panicules dont la floraison est suffisamment avancée pour que la pollinisation puisse se faire le lendemain. La date de la castration est portée sur chaque sachet au moment de celle-ci (Planche 9). Cette notation permet d'identifier les panicules vraisemblablement prêtes à la fécondation. Le plus fréquemment, la floraison complète de la panicule se produit deux ou trois jours après la castration. Les fleurons dont une anthère ou plus n'a pas été éliminée fleurissent en général un jour avant ceux où l'opération a été correcte. Ces fleurons doivent être éliminés lors de cette inspection, ce qui diminue beaucoup les autofécondations de fleurons castrés. La décision de polliniser une panicule le lendemain se concrétise par l'apposition sur son sachet d'un trombone ou d'une signalisation quelconque, aidant à la repérer rapidement au cours de la période de travail intense du lendemain.

Castration à l'eau chaude et technique du sac plastique

Note : L'auteur préfère la castration à la main, utilisant une aiguille ou une petite pince, car les graines ainsi obtenues sont toutes F_1 . Habituellement, le problème n'est pas dans les croisements, mais dans l'évaluation des populations F_2 .

On attache autour du pédoncule un sac constitué d'un manchon de plastique, entourant la panicule. Celui-ci peut être soulevé ou abaissé grâce à une poulie suspendue à un trépied. De l'eau très chaude est ramenée à 42° C par mélange avec de l'eau froide dans un seau. On la verse ensuite dans le manchon et on laisse tremper la panicule pendant dix minutes environ. Le pourcentage des fleurons stérilisés est variable mais il se produit habituellement quelques autofécondations, et leur descendants doivent être identifiés dans les F_1 (Stephens et Quinby 1933).

La technique du sac plastique est efficace car l'humidité élevée à l'intérieur empêche la déhis-

cence. Les épillets s'ouvrent et les anthères émergent, mais ne répandent pas leur pollen. On peut les faire tomber en tapotant la panicule. On utilise pour la pollinisation le pollen abondant provenant d'une panicule sèche. Le sac plastique (inclus dans un sac en papier) est mis en place sur la panicule vers 16 heures, après les heures chaudes de la journée. La pollinisation a lieu dès que les sacs sont retirés, elle peut être répétée plusieurs fois; on peut aussi éliminer les ramifications non fleuries. On ne remet ensuite en place que le sachet de papier et on note le croisement réalisé. Les semences obtenues sont des F_1 dans la proportion de 40 à 90% (Shertz et Clark, 1967).

Pollinisation

Elle doit avoir lieu dès la floraison de l'ensemble, ou de la plupart, des fleurons. Tous peuvent ne pas fleurir. Si certains fleurons, éparpillés sur la panicule sont à point, la pollinisation peut avoir lieu le lendemain. Tout délai plus long n'augmenterait guère le taux de floraison. La réceptivité du stigmate est à son maximum dès sa sortie du fleuron et reste bonne pendant quelques jours, puis elle décline et n'est plus, après dix jours que le trentième environ de celle du début.

Le pollen est en général émis juste avant ou de suite après le lever du soleil, s'il fait sec, ou, si la rosée est abondante, peu après que les panicules aient séché. Les panicules castrées à ce moment ont plus de chances d'être contaminées que celles traitées plus tard dans la matinée, ou l'après-midi.

Si la pression du travail le permet, on ne devrait castrer que l'après-midi. Le pistil émerge avec les anthères chez quelques variétés. Celles-ci devraient être traitées l'après-midi (et les autres dans la matinée).

Les talles peuvent être utilisées pour réaliser des croisements. Bien qu'elles puissent être beaucoup plus petites que la tige principale (elles sont souvent plus minces et plus hautes que la tige principale), elles sont identiques du point de vue génétique.

La pollinisation artificielle doit débiter le matin, peu après que la pollinisation naturelle ait pris fin. Les pollinisations réalisées alors que l'air est plein de pollen entraînent un risque de contamination plus grand que celles effectuées plus tard.

Par une matinée sèche, où l'émission naturelle du pollen se produit entre 6 et 7 heures, la pollinisation manuelle peut commencer vers 9h30 ou 10 heures. Si l'émission naturelle du pollen est retardée jusqu'à

Suite page 112

Planche 7. Hybridation du sorgho - 1

- 7-1 La panicule mâle-stérile en début de floraison; au cours d'un processus de rétrocroisement pour la création de nouveaux géniteurs, on l'observe, à ce stade, pour voir si elle est totalement stérile. La fécondation n'est opérée que sur des plantes totalement mâle-stériles.
- 7-2 Elimination du sommet fleuri de la panicule avant l'ensachage. Ayant fleuri, ces épillets du sommet sont susceptibles d'avoir été fécondés de façon aléatoire, et doivent donc être éliminés pour éviter toute contamination.
- 7-3 Une panicule ayant atteint l'état convenable pour la castration manuelle.
- 7-4 Elimination des racèmes fleuris de la panicule.
- 7-5 Les racèmes inférieurs de la panicule ont été éliminés, n'en laissant subsister qu'un certain choix (ceux qui auraient normalement fleuri le lendemain, c'est-à-dire ceux situés juste au-dessous de la partie fleurie). L'habillage réduit le nombre des épillets, à cinquante environ, de sorte à ce qu'ils restent en grappe de deux ou trois.
- 7-6,7-7,7-8 Outillage pour la castration. La pince de manucure sert à habiller la panicule, tandis que les ciseaux chirurgicaux servent à émonder les racèmes et à éliminer les épillets pédicellés. L'aiguille à castrer, en bois (7) ou faite d'un clou limé monté sur bois (6 et 8) est plate et fine (d'une taille comparable à une mine fine de portemine comme on le voit sur 7 et 8). Il faut que cette aiguille soit extrêmement bien polie, de façon à ce que les anthères n'y adhèrent pas, ce qui est particulièrement agaçant lors du travail de castration. L'aiguille limée, à droite de la photographie n°8, est trop mince.

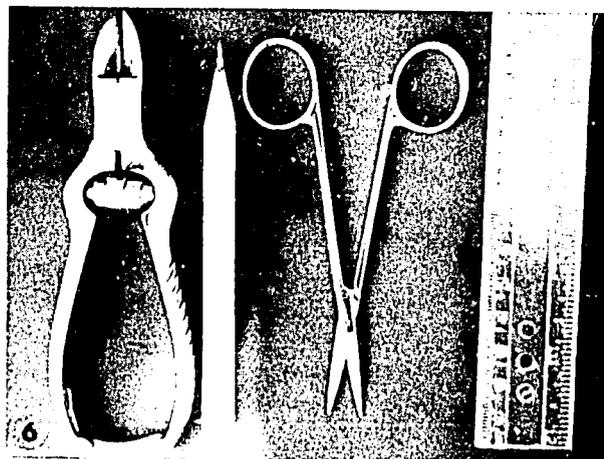
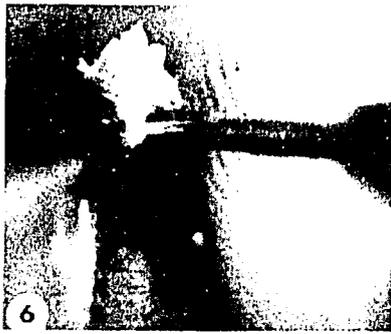
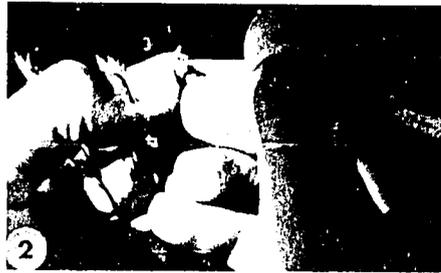


Planche 8. Hybridation du sorgho - 2

- 8-1 Elimination des épillets pédicellés. Elle ne doit être pratiquée que si ceux-ci sont porteurs d'anthères fertiles.
- 8-2 Position des mains lors de la castration.
- 8-3 Panicule totalement émondée et prête pour la castration.
- 8-4 Les éléments sexués de la fleur, montrant l'ovule, deux styles munis de leurs stigmates, et trois filaments avec leurs anthères.
- 8-5 Insertion de l'aiguille à castrer au milieu de l'épillet et son mouvement au travers des glumes en arrière des anthères.
- 8-6,8-7 L'aiguille, tournée de 90°, soulève et extirpe les anthères.
- 8-8 Les épillets dont les anthères ont été omis fleurissent souvent un jour ou deux avant les autres. L'inspection quotidienne des panicules castrées (les sachets translucides pour le maïs sont ici très utiles), permet alors de programmer les hybridations pour la journée suivante et d'éliminer les épillets.
- 8-9 Panicule castrée en pleine floraison et prête à la fécondation. Il faut souvent deux jours pour que la floraison soit totale.
- 8-10 Croissance des grains après la fécondation. La mise à graines varie de 10 à 80% et dépend essentiellement de l'habilité de l'opérateur. Cependant, les plantes à glumes petites et raides sont d'une manipulation très difficile et ne devraient servir que comme donneurs de pollen.
- 8-11 Grains des lignées génériques autofécondées apparaissant sur une panicule soumise à la fécondation croisée (après castration). Les parents devraient toujours être semés en association avec les F₁, de façon à pouvoir être identifiés et éliminés.



9h30 ou 10 heures en raison de la rosée ou de pluies nocturnes, on ne commencera que vers 11h30 ou 12h30. Il serait peut-être intéressant d'essayer si le report, dans l'après-midi, des opérations de pollinisation permet une bonne venue à graines des panicules traitées.

Le pollen du sorgho ne se conserve guère dans un sachet de pollinisation, 10 à 20 minutes pas plus. Certaines variétés se gardent mieux. Pour d'autres le pollen s'agglomère en grumeaux dès que l'on secoue les panicules dans le sac.

Le pollen âgé peut s'agglomérer en particules plus grosses que les grains de pollen eux-mêmes; la couleur peut en être orange. Le bon pollen est habituellement jaune citron; cependant, le pollen de nombreuses variétés garde cette couleur même vieux. Pour les variétés dont le pollen s'agglomère aisément, les pollinisations doivent avoir lieu une ou deux minutes après la collecte. Ce phénomène d'agglomération augmente en cas d'humidité élevée.

Dans les anthères, le pollen reste vivant longtemps après que l'émission naturelle ait cessé. Les panicules protégées du vent conservent une grande partie de leur pollen; on peut le recueillir, en cas de besoin, en tapotant vigoureusement la panicule du bout du doigt.

Il existe plusieurs techniques pour la collecte du pollen; les conditions locales déterminent celle à utiliser. Par exemple, les panicules appropriées peuvent être ensachées au cours de la nuit précédant leur utilisation. Cette technique est valable si les nuits sont sèches et les matinées très venteuses. On peut aussi ensacher les panicules le matin et les secouer, la technique étant valable en cas de fortes rosées nocturnes et de matinées calmes. Une autre technique consiste à prélever les panicules le matin, avant l'émission du pollen, et à les conserver à l'abri dans des boîtes ou des pots à fleurs. Cette technique s'applique s'il y a, à la fois de la rosée et du vent. Elle est également valable si le pollen de la panicule est d'émission difficile.

Certaines panicules donnent beaucoup de pollen (le quart d'une cuillère à café) et d'autres fort peu. Si l'on utilise un sachet en papier, il est possible que la plus grande partie du pollen y adhère; généralement, il est mieux de frotter les panicules du parent mâle sur celle du parent femelle (Planche 9-6).

Il vaut mieux ne pas collecter le pollen le premier jour, et le dernier jour, de la période de floraison car la production est supérieure dans l'intervalle.

Une même panicule peut servir de source de pollen plusieurs fois, puis être castrée et utilisée comme parent femelle si l'on prend soin d'éliminer chaque jour les parties en cours de floraison.

La contamination des panicules donneuses de pollen par du pollen étranger n'est jamais assez importante pour être préoccupante. La meilleure méthode pour maximiser la venue à graines reste à trouver; le pollen vagabond ne posera sans doute pas de problèmes sérieux de contamination. Si l'on juge préférable le pollen collecté par prélèvement des panicules ou par ensachage matinal, il faut opérer ainsi plutôt que d'ensacher les panicules au cours de la nuit précédente pour les protéger d'un pollen vagabond susceptible d'amener, par la suite, une fécondation croisée indésirable.

Lorsque l'on prélève le pollen d'une panicule ensachée la veille, le sachet doit être tiré vers le bas lorsqu'on le dégage de la panicule (Planches 9-1 et 9-2). On arrive habituellement à recourber la tige vers le bas pour faciliter cette opération. Si le sachet n'est pas orienté vers le bas, le pollen sera en grande partie perdu.

S'il y a doute sur la quantité de pollen que contient le sachet, un contrôle visuel, permet de s'en assurer (Planche 9-3). Il est possible, en orientant bien le sachet par rapport au soleil d'apercevoir, même de faibles quantités de pollen. On doit voir du pollen, (et non des anthères; la présence d'anthères n'indique pas celle de pollen viable). Si le sachet est légèrement poudré de jaune à l'intérieur la quantité disponible est sans doute suffisante. Parfois on peut voir, en tapotant le sachet avec le doigt, un nuage de pollen. Les sachets de papier cristal conviennent parfaitement à la collecte de pollen car ils sont lisses et celui-ci y adhère moins.

Pour éviter la contamination au cours des manipulations des sachets, que ce soit la pollinisation ou les observations, les doigts ne devront jamais être placés dans l'ouverture du sachet ou sur ses bords. Des techniques le permettant peuvent être définies (Planches 10 et 11).

Documents de travail

Il est indispensable de tenir un registre de terrain pour garder trace des opérations de croisements. Celui-ci doit indiquer tous les croisements à faire dans chaque parcelle. Il doit permettre de noter des données comme le cycle semis-floraison à 50% et toutes observations spéciales. Il faut enregistrer de façon continue le nombre de pollinisations réalisées chaque jour. Ceci peut se faire sur les étiquettes de rang (si les combinaisons sont peu nombreuses), ou dans le registre de terrain (Planche 12).

Les responsables d'un programme de croisement doivent s'assurer que le nombre de croisements

Tableau 4.16: Enregistrements quotidiens pour un programme de croisements.

	Combinaison de croisements	Procédure
Parcelle	18 × 1	Complet
	18 × 2	Deux croisements achevés, le "0" indique qu'une pollinisation croisée supplémentaire est nécessaire en utilisant la parcelle 18 comme parent femelle
	18 × 3	Combinaison non nécessaire
	18 × 4	Même chose que pour 18 × 2
	18 × 5	Même chose que pour 18 × 2
	18 × 6	Combinaison non nécessaire
	18 × 7	Complet
	18 × 8	Complet
	18 × 9	Complet
	18 × 10	Même chose que pour 18 × 2 sauf que la ligne 10 est la parent femelle et la ligne 18 le parent pollinisateur (indiqué par √).

prévu a bien été réalisé pour chacune des combinaisons nécessaires. Si les combinaisons sont en grand nombre, ils devront vérifier de la disponibilité par parcelle, tant des panicules destinées à la pollinisation que de celles utilisées comme source de pollen. Il faut enregistrer les croisements réalisés (plus de 500 combinaisons ont été réalisées en un mois à Farm Suwan, près de Pakchong, en Thaïlande. La méthode utilisée pour l'enregistrement des pollinisations est décrite dans les Planches 12-1 à 12-3 comme un exemple ayant donné satisfaction).

La Planche 12-1 montre une fiche quotidienne. Les nombres de 1 à 50 sont des numéros de parcelle, et les fractions, dans la colonne intitulée "♂/♀", indiquent le nombre de panicules donneuses de pollen/le nombre de panicules castrées pollinisables pour la journée suivante.

La Planche 12-2 montre le dispositif d'un programme de croisement dialléle qui a permis l'enregistrement continu des croisements réalisés, c'est-à-dire que les croisements réalisés chaque jour sont portés sur cette fiche jusqu'à ce que le nombre souhaité soit atteint. La Planche 12-3 montre comment une telle fiche sert à déterminer le nombre de croisements nécessaires. Dans ce cas, il fallait trois croisements par combinaison. Le Tableau 4.16 donne le détail de la parcelle 18 (rang horizontal).

La fiche journalière pour la parcelle 18 présente la notation suivante (Planche 12-1) :

$$\frac{1}{8} \quad -1 \quad -1 \quad -2 \quad -3 \quad -4 \quad -5 \quad -6 \quad -7 \quad -8$$

Le signe -1 qui suit le numérateur de la fraction a

été inscrit lorsque le rang 18 a été choisi comme donneur de pollen (croisement 18 × 10). Le signe -1 a été inscrit à la suite du dénominateur au moment du croisement 18 × 2; -2 pour 18 × 4, -3 pour 18 × 5, etc. Lorsque le nombre de croisements indiqués atteint -8, aucun croisement supplémentaire mettant la parcelle 18 en jeu ne peut être fait. Le même processus fut répété pour chaque parcelle. L'utilisation de la fiche maîtresse (Planche 12-3) permet d'étiqueter correctement les sacs de pollinisation (ainsi 18 × 2 indique que le rang 18 est le parent femelle et le rang 2 le parent mâle). Le croisement 18 × 10 devrait en fait être étiqueté 10 × 18 sur son sachet car 18 est le parent mâle.

Après l'étiquetage de tous les sachets ceux-ci sont placés au champ, sur les plants correspondants (dans le rang 2 pour le croisement 18 × 2 et le rang 18 pour le croisement 10 × 18). Après la réalisation des croisements, le jour suivant, les 0 et les √ ont été retirés de la fiche maîtresse et le nombre 2, dans le croisement 18 × 2 remplacé par un 3.

Quoique ce système soit relativement complexe, il a permis de prendre en compte plus de 500 combinaisons, demandant quelques 3 000 castrations (note sur la Planche 6, page 101). Sans une telle méthode pour déterminer les besoins quotidiens pour les croisements à réaliser, il est probable que beaucoup d'entre eux n'auraient pu être faits et peut-être en aurait-on fait trop correspondant à d'autres combinaisons. Lorsque le nombre de parcelles en jeu est plus réduit, ou s'il y a peu de combinaisons entre deux parcelles quelconques, les enregistrements quotidiens sur les étiquettes des rangs deviennent plus commodes (voir Planche 12-

Suite page 122

Planche 9. Pollinisation

- 9-1,9-2 Le sachet de pollinisation est retiré de la panicule. Après l'émission de son pollen, la panicule doit être recourbée vers le bas, sur le côté, autant que possible sans briser la tige, et le sachet retourné vers le bas lorsqu'on le retire. Si l'on n'opère pas ainsi, le pollen tombe et il est perdu.
- 9-3 Contrôle de la présence de pollen dans le sachet. Certaines plantes émettent peu de pollen, et il faut orienter le sachet correctement par rapport au soleil pour bien voir à l'intérieur. Pourtant, normalement, il est facile de bien voir le pollen jaune-citron rassemblé au fond du sachet. La présence d'anthers, au premier plan de la photographie, ne garantit pas la présence de pollen viable; on aperçoit du bon pollen à l'arrière-plan de la photographie.
- 9-4 Marquage des sachets de pollinisation pour des techniques particulières. Il est possible d'appliquer rapidement différents marquages colorés en faisant glisser de côté la liasse de sachets et en passant de la peinture sur le bord exposé.
- 9-5 Le tablier de pollinisation. Les poches sont prévues pour les sachets de pollinisation, les crayons à étiqueter, les trombones ou l'agrafeuse, un canif et le registre de terrain.
- 9-6 Une technique de pollinisation. Elle est à préférer à celle des photographies 1 et 2; elle donne beaucoup plus de graines par croisement. La panicule, prélevée sur le parent mâle tôt dans la matinée est utilisée pour la pollinisation après la floraison (celle-ci se produit rapidement pour une panicule coupée le matin même).
- 9-7,9-8 Le problème des encres qui se délavent. Certaines encres et certains crayons s'effacent rapidement en plein air. Il ne faut utiliser que des encres et des crayons indélébiles. Les deux photographies ont été prises le 16 février. Elles montrent que l'une des inscriptions, faite le 4 février était encore bien distincte tandis qu'une seconde, faite cinq jours plus tard (9 février) avait déjà commencé à pâlir (la même encre a été utilisée pour l'inscription du 16 février).

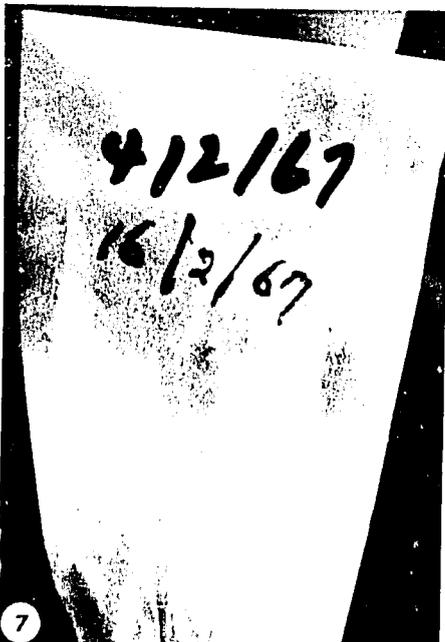
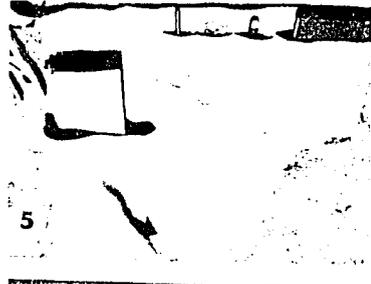


Planche 10. Manipulation des sachets de pollinisation

- 10-1 Tenue du sachet lors de la préparation d'une pollinisation. L'objectif est de placer le sachet sur la panicule sans perte de pollen et sans approcher les doigts de son ouverture (ce qui pourrait être la cause de contaminations). Le sac est tenu côté fermé éloigné de l'opérateur, saisi entre les pouces et les médus, ces derniers par derrière et les pouces devant. Les index se placent dans les plis du sachet.
- 10-2 Les index avancent par dessus les pouces, tirant l'ouverture du sachet jusqu'à ce qu'elle soit à peu près à angle droit avec le fond du sac.
- 10-3 Les mains roulent ensemble jusqu'à ce que les jointures se touchent, plissant ainsi le sachet sur lui-même.
- 10-4 Le sachet, saisi dans un main, vient coiffer la panicule.
- 10-5 Le fond du sachet est serré d'une main autour du pédoncule, redressé de l'autre et agité vigoureusement de bas en haut de façon à ce que son atmosphère interne soit pleine de pollen.
- 10-6,10-7 Autre technique, dans laquelle le sachet est plié en premier lieu (ceci normalement juste après la collecte du pollen et avant de le transporter auprès du parent femelle); les plis internes du sachet sont tenus entre le pouce et l'index, tandis que le médus le force à s'ouvrir. Il est alors placé sur la panicule et agité comme le montre la photographie n°5.

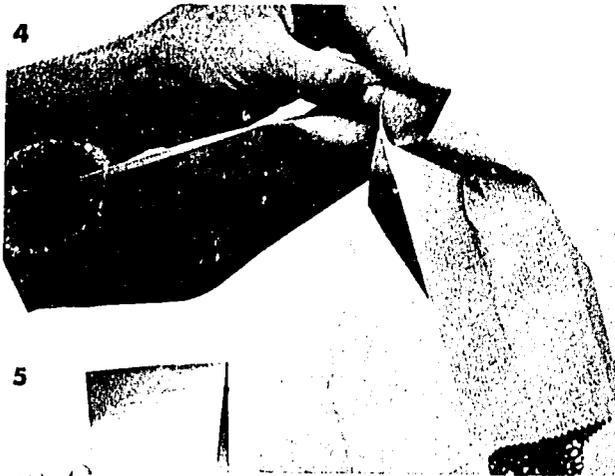
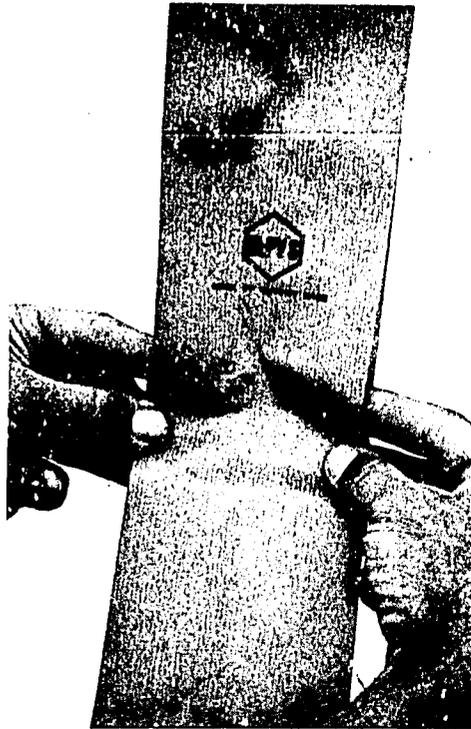


Planche 11. Fermeture du sachet

- 11-1 Une fois la pollinisation effectuée, le sachet est fixé sur la panicule. On en saisit les coins du bas entre le pouce et les autres doigts et on les replie en faisant glisser les doigts sur le pouce et en faisant tourner les mains vers l'intérieur, ou en plaçant les index à l'endroit des plis et en repoussant les coins vers le haut avec les pouces.
- 11-2 On rassemble les coins repliés.
- 11-3 On agrafe les coins repliés ou on les assure par un trombone. L'agrafe ou le trombone doit être placé de façon à ce que le sachet ne puisse s'envoler, mais assez lâchement, pour que la panicule ne crève pas le sommet du sachet et que celui-ci puisse se déplacer et accompagner l'allongement de la panicule. Il faut éviter, en règle générale, de prendre une feuille dans les pliures. L'utilisation de trombones est préférable lorsqu'il y a lieu d'ouvrir les sachets plusieurs fois avant la récolte.
- 11-4 Autre méthode de fermeture des coins du sachet.



Planche 12. Documents de travail pour les croisements effectués à la main

- 12-1 Fiche journalière sur laquelle est porté le nombre de panicules fleuries de chaque parcelle. Cette fiche permet de préparer le programme de travail du lendemain (voir le texte pour les détails).
- 12-2,12-3 Fiches maîtresses indiquant le nombre de croisements souhaités. Tout au long de la période des pollinisations, ces fiches servent à indiquer le nombre des croisements réalisés, et de ceux qui restent à faire pour chaque combinaison (voir le texte pour les détails).

Étiquetage des rangs

- 12-4 L'étiquetage des rangs est d'un emploi commode au champ. Il faut une étiquette par rang et le numéro de la parcelle doit figurer des deux côtés; la chasse aux étiquettes prend du temps : qu'elles soient bien apparentes (la couleur jaune est à conseiller) et de dimensions raisonnables. Qu'elles soient placées à des endroits bien visibles. On peut également y faire figurer les instructions pour la pollinisation.
- 12-5 Les numéros de parcelles doivent figurer en haut et en bas des étiquettes. A la récolte, la partie inférieure est mise dans les sachets, la partie supérieure sert à les fermer.
- 12-6,12-7 La perte d'étiquettes, surtout en cas de grand vent, est réduite si elles ne s'arrachent pas de leur lien de fil de fer. Il est important de renforcer les trous par des oeillets.
- 12-8 Une fois réalisées toutes les pollinisations souhaitées, les étiquettes de rangs peuvent être pliées et encochées. Cela signale que le travail sur ce rang est achevé et fait gagner du temps à l'équipe de pollinisation.
- 12-9 Il suffit d'une simple boucle pour maintenir l'étiquette sur la tige.
- 12-10 Cette boucle ne doit pas être serrée, car elle étranglerait la plante lors de sa croissance ultérieure. Si le lien est noué comme sur la gauche de la photographie n°9, on peut le détacher facilement en tirant dessus (photographie n°10) plutôt qu'en le détortillant comme cela serait nécessaire pour l'étiquette figurant à droite de la photographie n°9. Si les résidus servent à nourrir des animaux après la récolte, on utilisera comme lien de la ficelle, plutôt que du fil de fer.

Daily Work Sheet for Hand Emulsified Coating Block

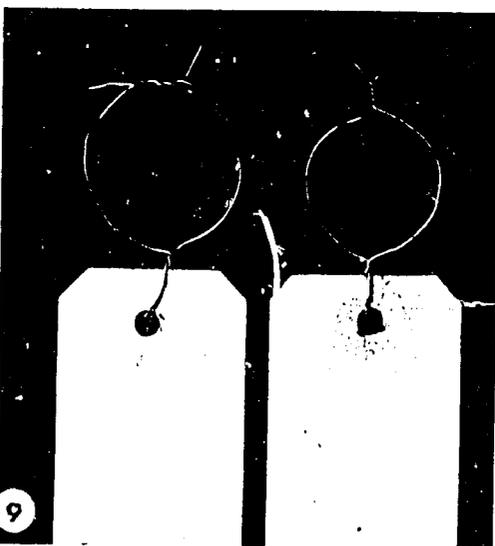
Plot no	Plot of	Date
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		

Plot no	Plot of	Date
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		

2

Plot no	Plot of	Date
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		

3



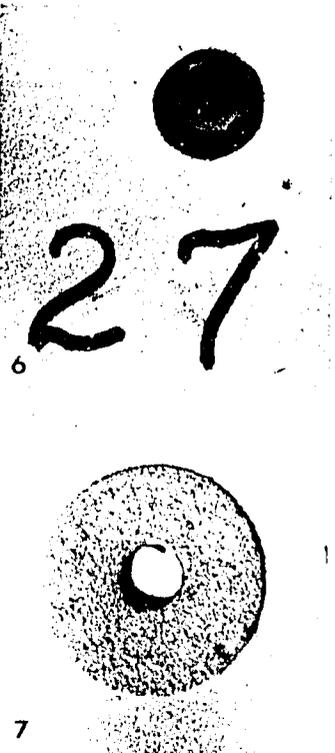
9



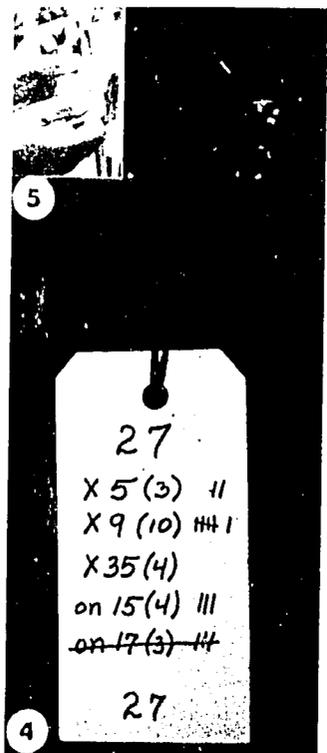
10



8



7



4

4; cette technique est examinée plus en détail à la page 161).

Il est souvent possible de dresser un tableau à doubles entrées pour l'enregistrement, les parents femelles y figurant de haut en bas sur la gauche, et les parents mâles horizontalement à la partie supérieure. La case correspondante est marquée lors de la réalisation de chaque croisement.

Parcelles de croisements pour la réalisation de semences hybrides à partir de parents femelles mâles-stériles

Lignées A, B et R

Les sorghos sont créés par le croisement d'un parent femelle mâle-stérile (Planche 6-3) et d'un parent mâle-fertile. Le parent femelle mâle-stérile vient du croisement de plantes mâles-stériles avec un parent mâle appelé *mainteneur*. Le parent femelle mâle-stérile est appelé *lignée A*, et son mainteneur *lignée B*. Le croisement des lignées A et B donne des semences reproduisant la lignée A, c'est-à-dire que la lignée B ne joue pas le rôle de restaurateur de la lignée A. Les lignées A et B sont isogéniques (phénotypiquement identiques), à partir du fait que la première est mâle-stérile et l'autre non.

lignée A × lignée B -----> lignée A

Le semence hybride vient du croisement de la lignée A par une *lignée R*, restauratrice. Les plantes descendantes d'un tel croisement sont mâles-fertiles, leur fertilité a été restaurée, c'est-à-dire que la lignée R est restauratrice pour la lignée A. La lignée R est phénotypiquement différente de la lignée A. Elle est choisie de façon à donner un hybride à haut rendement.

lignée A × lignée R -----> hybride mâle-fertile

Obtention de quantités correctes de semences hybrides

Un programme d'hybridation exige la réalisation d'un grand nombre de croisements pour l'évaluation des rendements. Les tests préliminaires nécessitent la participation de nombreux hybrides. Les

semences pour les quelques hybrides participant aux essais à l'échelle nationale peuvent parfaitement être produites dans des parcelles isolées, en pollinisation libre. Les croisements peuvent être réalisés hors saison, pour les stations où il n'est possible de faire qu'une culture par an. Les stations à hivers froids devront alors disposer d'une localité de contre-saison plus tropicale. Les croisements nécessaires pour des campagnes d'essais de rendements régionaux doivent être entrepris à très grande échelle pour jouer leur rôle. C'est ainsi que 15 000 fécondations croisées ont été effectuées en un an, et 20 000 l'année d'après dans une station du sud de l'Inde en vue de fournir des semences pour les essais régionaux, et à plusieurs stations du nord du pays.

L'accomplissement d'un tel volume de travail demande une organisation serrée du personnel de terrain.

Décisions opérationnelles

Certaines décisions initiales doivent être prises lors de la planification d'une parcelle de croisement : Quelle quantité de semences veut-on obtenir pour chaque F₁? Quelle quantité fournira chaque croisement? Quel est l'écart entre les dates de floraison des différentes lignées de la parcelle (et sachant ceci, combien de semis à différentes dates faut-il prévoir pour chaque lignée)? Quels sont les degrés de parenté entre les différentes lignées? Les exemples suivants vont illustrer la façon de prendre de telles décisions.

Volume des semences nécessaires : Imaginons qu'un essai d'hybrides soit prévu en trois endroits, avec quatre répétitions pour chacun. Les parcelles élémentaires sont constituées de quatre rangs longs de cinq mètres, avec un espacement de 0,15 m entre plantes. Soit : trois essais x quatre répétitions x quatre rangs = quarante-huit rangs en tout. Avec un écartement de 0,15 m, il y aura pour une longueur de cinq mètres, 500/15 = 34 plantes par rang, soit 34 x 48 = 1632 plantes en tout. Pour déterminer la quantité de semence nécessaire, il faut tenir compte que le poids de 100 grains de sorgho est d'environ 2,5 g. Il faudra ainsi (1632/100) x 2,5 g = 40,8 g de semence, à condition que la germination soit de 100% et qu'un seul grain par emplacement suffise. La germination n'est jamais de 100%. Dans l'ignorance, il vaut mieux tabler sur 50%. Il faudra donc à peu près 82 g de semence. Ceci est un minimum, et exigerait un semis bien espacé. Si l'on pratique le semis au semoir, la quantité recommandable est de

120 à 150 g. Chaque panicule mâle-stérile peut fournir 30 à 40 g de semence, mais mieux vaut ne compter que sur 20 g; le nombre des croisements à réaliser devra être $120/20 = 6$.

Détermination des dates de semis : Il est généralement préférable de semer tous les parents mâles en un seul ensemble et les parents femelles en un autre. Ceci exige que les parents femelles soient semés en parcelles ayant des dates de semis différents. Celles-ci sont variables et devront être déterminées en fonction de l'expérience locale, et des informations acquises. Sous les tropiques, la plupart des parents femelles mâles-stériles fleurissent en 60 à 70 jours, et les parents mâles les plus précoces en 50 jours. Ainsi, le premier semis des parents mâles-stériles devrait-il avoir lieu de 10 à 15 jours avant celui des donneurs de pollen. Trois dates de semis de plus peuvent avoir leur intérêt : le même jour que le donneur de pollen, deux semaines plus tard, et quatre semaines plus tard. Les lignées dont la floraison varie de plus de dix jours ne devraient en général pas entrer dans les croisements destinés aux essais de rendements. En effet, les producteurs de semences commerciales estimeront la coïncidence des dates de floraison, en parcelle de grande culture, beaucoup trop aléatoire. Les parcelles de croisement en contre-saison peuvent être semées alors que le cycle semis-floraison des variétés photo-sensibles s'allonge, et il faut en tenir compte pour la détermination des dates de semis. Il

n'est en général pas raisonnable de persévérer avec une lignée (même si c'est un bon parent), si elle ne fournit que peu de pollen, si elle est de multiplication difficile, ou présente d'autres inconvénients. Ces ennuis persisteront pour le producteur de semences commerciales tout le temps que l'hybride restera en usage.

Le registre de champ, avec les instructions de croisement, est rédigé comme indiqué au Tableau 4.17.

La longueur des cycles semis-floraison varie de façon continue, mais il convient de grouper les lignées de sorte que les dates de semis s'échelonnent selon des intervalles d'une semaine. Ceci évite de trop nombreux déplacements au champ. Les dates de floraison sont suffisamment étalées pour que l'on dispose de pollen quand on en a besoin. La parcelle 11 peut servir d'exemple pour déterminer la longueur du retard au semis nécessaire. Elle fleurit en 62 jours; la différence de cycle entre les parents du croisement 11 x 19 n'est que de trois jours. Aucun décalage des semis n'est donc à prévoir. Les parents du croisement 11 x 20 ont des dates de floraison qui diffèrent de 11 jours. Il n'est pas souhaitable de retenir des hybrides dont les parents diffèrent de plus de dix jours, en raison des problèmes de production de semences qu'ils soulèveraient s'ils devaient être produits commercialement. Ce croisement devrait, ainsi, être abandonné. Les parents du croisement 11 x 21 ont un écart de cycle de

Tableau 4.17: Modèle de registre de champ avec instructions sur les opérations de croisements.

Pedigree NES	Origine 72TA	N° de parcelle	Jours à 50% fln.*	Type	Jours de retard	Instructions pour la pollinisation
501A	25	11	62	Kafir	1 sem.	× 19(6) 21(6) 22(6) 23(6) 25(6)
505A	27	12	64	Kafir	1 sem.	× 19(6) 20(6) 21(6) 22(6) 23(6) 25(6)
632A	29	13	59	Feterita	1 sem.	× 17(6) 18(6) 22(6) 23(6) 25(6)
633A	31	14	73	Feterita	1 sem.	× 16(6) 24(6) 25(6)
654A	35	15	75	Shallu	1 sem.	× 16(6) 19(6) 20(6) 21(6) 24(6) 25(6)
101	601	16	80	Kafir		sur 14, 15(6)
432	640	17	55	Kafir		sur 13(6)
436	642	18	62	Kafir		sur 13(6)
1209	803	19	65	Feterita	1 sem.	sur 11, 12, 15(6)
1354	859	20	73	Feterita		sur 12, 15(6)
1368	864	21	69	Feterita	1 sem.	sur 11, 12, 15(6)
1401	901	22	62	Shallu		sur 11, 12, 13(6)
1405	903	23	60	Durra		sur 11, 12, 1(6)
1406	904	24	80	Durra		sur 14, 15(6)
1525	1033	25	65	Durra		sur 11, 12, 13, 14, 15(6)

* fln. = floraison.

sept jours, le parent 11 étant le plus précoce; ainsi, cette lignée est semée à la première date et à nouveau une semaine plus tard, pour que sa floraison coïncide avec celle de la lignée 21. Les écarts de semis sont déterminés de la même façon pour d'autres croisements. Il est à noter que, pour le croisement 15 x 21, le parent mâle (21) est de six jours plus précoce que le parent femelle; dans ce cas, il sera semé à la première date et à nouveau une semaine après.

Rédaction des instructions de pollinisation : Plusieurs considérations entrent en ligne de compte. Tout d'abord, il convient de désigner les parents par le numéro de leur rang, c'est-à-dire 11 x 19 (et non pas NES 501 x NES 1209).

Les instructions relatives à la pollinisation sont des instructions de terrain, et les étiquettes de parcelles ne portent que les numéros de rangs. Les instructions de pollinisation formulées sur la base des numéros de parcelles se rapportent, effectivement, aux étiquettes de parcelles.

Ensuite, et pour les raisons indiquées ci-dessus, il ne faut jamais croiser deux lignées dont les cycles semis-floraison à 50% diffèrent de plus de dix jours.

Une troisième considération a trait aux lignages. On ne devrait pas croiser un kafir avec un kafir, ni un feterita avec un feterita. Ainsi, le croisement 11 x 18 n'a-t-il pas lieu d'être.

Comme indiqué plus haut, chaque croisement demande la pollinisation de six panicules. C'est pourquoi le symbole "11x19 (6)" indique que six croisements 11 x 19 doivent être effectués. Un espace suffisant doit être disponible, sur les fiches d'instructions, pour y noter d'un trait "1" chacun des six croisements, dès leur exécution (c.a.d. 11x19 (6) 1). Un nouveau trait est porté à chaque nouveau croisement, permettant ainsi de connaître le nombre des croisements déjà faits et de ceux restant à faire.

Collecte du pollen : La procédure de collecte du pollen détermine la quantité de semence fournie par chaque croisement. S'il fait mauvais temps, il peut être impossible d'ensacher les panicules donneuses de pollen la veille de la pollinisation (les sachets restant alors humides, à cause de la rosée, jusque tard dans la matinée). Dans ces conditions, l'intérêt de l'ensachage est douteux et la mise en oeuvre d'autres techniques est susceptible d'aboutir à une meilleure venue à graines. A Coimbatore (Inde), les croisements initiaux ont été réalisés en prélevant les panicules des donneurs de pollen, en les transportant immédiatement auprès des parents femelles, et en les frottant dessus. Chaque panicule mâle a été ainsi utilisé jusqu'à l'épuisement de son pollen. Les

quantités de semences produites par chaque panicule se sont ainsi échelonnées de 2 à 30 g par panicule, ce qui est peu, puisqu'une panicule intacte peut donner de 70 à 80 g de grain. Les rendements obtenus par la collecte du pollen en sachets, ceux-ci étant ensuite secoués sur les panicules mères ont été encore plus faibles. La méthode mise au point par Orrin Webster, à l'Université du Nebraska, aux Etats-Unis, a beaucoup mieux réussi. Les panicules sources de pollen sont prélevées tôt dans la matinée (avant la déhiscence des anthères) et gardées dans un récipient. La déhiscence ne se produit pas tant que l'on ne touche pas aux anthères; ces panicules, pleines de pollen, peuvent même après plusieurs heures être frottées sur les panicules du parent femelle. (Cette technique est particulièrement intéressante en cas de vents matinaux éparpillant le pollen et raccourcissant ainsi le temps disponible pour les pollinisations). On ne met dans chaque récipient que les panicules d'un seul parent mâle. Celles-ci peuvent, même au bout de plusieurs heures, être utilisées à la pollinisation des panicules femelles.

La déhiscence se produit peu avant ou après l'aube, après une nuit chaude et sèche. En cas de forte humidité ou de rosée, elle peut être retardée jusque vers 9 ou 10 heures. La déhiscence, sur les panicules coupées, se produit pratiquement au même moment que pour les panicules sur pied. Avec la méthode de Webster, chaque panicule sert deux fois et l'on en utilise deux pour chaque pollinisation. L'opérateur tient une panicule pollinisatrice dans chaque main et la brosse plusieurs fois de bas en haut de la panicule mère, laquelle passe entre les deux panicules donneuses de pollen. Cette méthode a permis de faire passer la production de semences de 5 à 40 g de semence par croisement. Il est nécessaire d'estimer la quantité de semence susceptible d'être produite par chaque croisement pour déterminer le nombre des croisements nécessaires pour fournir les semences du programme d'essais de rendements.

Si l'on utilise la méthode de Webster et que de nombreuses combinaisons soient à réaliser, il y a lieu de déterminer, la veille, le nombre de chaque type de pollinisation à faire.

Ceci peut être basé sur le comptage des panicules mères appropriées et le marquage de leurs sachets permettant un repérage facile le lendemain. Un trombone placé au sommet du sachet convient parfaitement et il est facile à enlever. Il est préférable d'utiliser des trombones, plutôt que des agrafes, pour fermer les sacs, car ceux-ci doivent être ouverts et inspectés pour déterminer si la panicule

est prête à la pollinisation, et pour la pollinisation elle-même.

Il est alors possible de déterminer le nombre de croisements mettant en oeuvre tel ou tel donneur de pollen, et de prélever le nombre correspondant de panicules pollinisatrices. Cette procédure permet de ne pas faire trop de pollinisations avec un parent, ou trop peu avec un autre, ou même d'omettre totalement une combinaison. Les techniciens expérimentés repèrent et comptent les panicules prêtes à fournir du pollen, cependant que les employés enregistrent ces données. Le responsable du programme détermine les croisements à réaliser; il doit posséder une connaissance approfondie du terrain. Le superviseur aide à faire les croisements et à rassembler l'information nécessaire pour établir le programme de croisements du lendemain.

Les panicules mâles-stériles doivent être ensachées dès que la partie supérieure commence à fleurir. On élimine cette partie avant l'ensachage, et on inscrit la date sur le sachet. Cette technique simplifie la détection des panicules réceptives. La floraison complète a lieu en trois à cinq jours. Ainsi, par exemple, toutes les panicules ensachées le 10 août devraient être à point le 15 août; de sorte que seuls les sachets marqués 14, 15 et 16 août devraient faire l'objet d'une inspection le 15 août pour détecter les panicules fécondables le 16 août.

Travail d'équipe pour les croisements : La meilleure efficacité s'obtient par un travail d'équipe. Un technicien retire le sachet de la panicule mère et indique le croisement à faire, tandis qu'un ouvrier brosse à plusieurs reprises la panicule mâle sur la panicule femelle. Le technicien replace ensuite le sachet et le ferme. S'il y a abondance de main-d'oeuvre, l'un des ouvriers peut transporter les panicules mâles, et un autre refermer les sachets. Il est en général préférable de réaliser toutes les pollinisations mettant en jeu une source de pollen donnée, puis de passer à la suivante, que de traiter d'abord le parent femelle par différents parents mâles et de passer ensuite à un autre parent femelle. Dans le second cas, l'accroissement de manipulations des récipients de panicules mâles augmente les risques d'erreurs (il y a des chances que le récipient choisi ne soit pas le bon, ou que le sachet soit marqué de façon erronée).

Le croisement d'une lignée A avec une lignée B en vue du maintien de la lignée A se pratique à peu près de la même façon que le croisement d'une lignée A avec une lignée R pour aboutir à un hybride. Cependant, la multiplication de la lignée A est plus facile car les floraisons des lignées A et B sont en général synchrones.

Création de nouveaux parents mâles-stériles

Le rétrocroisement est un procédé qui sert à transférer un caractère intéressant d'un parent (non-récurrent) à une lignée que l'on souhaite créer (récurrente), ne possédant pas ce caractère. Un programme important de rétrocroisement pour la sélection du sorgho concerne la création de nouvelles lignées mâles-stériles utilisables comme parents femelles dans les programmes d'hybridation.

Le rétrocroisement permet de retrouver le phénotype du parent récurrent, mais doté de la stérilité mâle. Imaginons, par exemple, que l'on sache que IS 534 n'est pas restaurateur s'il est croisé avec la lignée mâle-stérile Combine Kafir 60 (lignée A). Il y aura alors lieu de pratiquer des croisements réciproques (en numérotant les plantes mères dans chaque rang, et leur emplacement dans le rang) au cours du processus, pour éviter les problèmes de fertilité partielle. Le recours à la culture de contre-saison peut diviser par deux le temps de réalisation d'un tel programme.

Des lignées non restauratrices ayant un potentiel intéressant pour des rétrocroisements, peuvent être repérées aux cours des essais de rendement. Il faudrait ensacher dix plantes pour chaque lignée figurant dans chaque répétition des essais de rendements d'hybrides, avant la floraison. Ceci ayant pour but de déterminer si le donneur de pollen n'est pas restaurateur (aucune venue à graines), partiellement restaurateur (venue à graines partielle) ou totalement restaurateur (venue à graines totale) pour les différentes localités et les différentes saisons où les essais de rendements de ces hybrides peuvent être implantés. Il serait utile de mettre en place un rang de chacun des parents en chaque station, dans tous les essais à l'échelle d'un état ou d'une région, de façon à accumuler des informations sur les cycles semis-floraison, d'un grand intérêt par la suite pour les producteurs de semences.

Il est possible d'identifier à partir de tels essais des lignées non restauratrices ayant une bonne aptitude à la combinaison. De telles lignées sont prometteuses pour la création de nouveaux parents mâles-stériles. Avec la poursuite du processus de rétrocroisements, une fertilité partielle peut apparaître, annihilant ainsi les chances d'obtenir une nouvelle lignée femelle. Ceci peut être évité par l'enregistrement de chaque croisement individuel, et en ne rétrocroisant qu'en vue de descendance totalement stériles. Considérons la succession suivante de croisements, NR, le parent non-récurrent

étant mâle-stérile, et R, le parent récurrent étant mâle-fertile. Les panicules de NR ne sont pas ensachées avant la floraison du sommet des panicules (cette partie étant éliminée juste avant l'ensachage). S'il apparaît la moindre anthère porteuse de pollen viable, la panicule n'est pas ensachée.

Ce processus économise du temps car les panicules totalement stériles sont seules ensachées. Si

l'on ne le met pas en oeuvre, il faut alors ouvrir tous les sachets à la recherche d'une bonne panicule stérile au moment de la pollinisation. Ce qui demande du temps.

Le Tableau 4.18 montre une méthode pour la création de lignées mâles-stériles.

Après trois à quatre générations selon cette procédure, les croisements individuels n'ont plus de

Tableau 4.18: Croisements et rétrocroisements pour l'identification de plantes particulières chez les deux parents.

Saison	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R
1	x x x x x	x -2-x -3-x -1-x								
N° rang dans la parcelle	25	26								
2	x x x x x x x x x	-2-x x -4-x -3-x x -1-x -5-x	x x x x x x x	-3-x -4-x -2-x -1-x	x x x x x x x	x x x x x x x				
Origine	25-1x 26-1	26-1	25-2x 26-2	26-2	25-3x 26-3	26-3				
N° rang parc.	81	82	83	84	85	86				
3	x x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x x x
Origine	81-1x 82-1	82-1	81-2 x 82-2	82-2	81-3 x 82-3	82-3	81-4 x 82-4	82-4	81-5 x 82-5	82-5
N° rang parc.	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
etc.										

Plante dans le rang

raison d'être poursuivis et les multiplications ultérieures se font par lignées. Cette décision se fonde sur le degré de stérilité de la lignée NR; c'est-à-dire que, si chacune des plantes du rang est totalement stérile, il est probablement inutile de faire des croisements individuels. Dans certains cas, il n'a pas été possible d'éliminer les plantes dont la stérilité n'est que partielle, même après cinq ou six rétrocroisements. Le meilleur parti à prendre semble d'éliminer de tels couples. L'utilisation d'une loupe de poche est utile pour s'assurer si les anthères rudimentaires de certaines lignées sont porteuses, ou non, de pollen viable. Les essais de rendements permettent d'éliminer des lignées après le deuxième ou le troisième rétrocroisement. Il est souvent intéressant de poursuivre la culture en panicules-lignes jusqu'à ce que l'homozygotie soit atteinte.

Les lignées mâles-stériles varient quant à leur faculté de venue à graines. Certaines peuvent n'avoir qu'une venue à graines partielle en pollinisation libre, tandis que pour d'autres elle est totale. Une semence hybride donnée n'est valable que si elle peut être produite, de façon économique, pour les cultivateurs. Les rendements obtenus par les producteurs semenciers sont meilleurs (et leurs prix de revient réduits) s'ils obtiennent facilement une bonne mise à graines. La sélection des parents doit, dès le début, se fixer cet objectif; alors que certaines lignées, figurant dans un essai de rendements, ont une venue à graines irrégulière, celle-ci est totale pour d'autres, sauf pour les panicules ensachées. Il y a lieu d'identifier les lignées dont la venue à graines est la meilleure pour les panicules non ensachées (et nulle pour les panicules ensachées) pour les promouvoir au rôle de parents mâles-stériles.

La méthode de croisement définie ci-dessus est réalisée pour le mieux par une équipe bien organisée, constituée de deux techniciens et d'un manoeuvre. L'un des techniciens collecte le pollen destiné aux croisements et fait l'autofécondation; le manoeuvre apporte le sachet de pollen à l'autre technicien qui réalise le croisement. Chacun d'eux ferme et agrafe les sachets.

Les croisements à faire sont prévus la veille. Une personne techniquement bien formée choisit dans le rang des NR les panicules à croiser et marque leurs sachets de façon bien évidente (par exemple, un trombone en haut du sachet). Elle repère ensuite un donneur de pollen convenable, et le signale.

Il est plus commode d'indiquer le numéro du rang et de la pollinisation sur le sachet au moment où celle-ci est effectuée.

Croisements en grandes parcelles isolées et en pollinisation libre

Croisements d'épreuve

Lorsque de nombreuses lignées mâles-stériles doivent être évaluées avec un nombre réduit de testeurs, il est possible d'opérer dans des parcelles isolées. Il est préférable de débiter ces croisements d'épreuve avec des F_3 pratiquement homogènes, ou avec des F_4 . Il faut une parcelle isolée pour chacun des parents mâles (testeurs), c'est-à-dire que les lignées mâles-stériles peuvent se trouver, en toutes quantités, dans la même parcelle d'isolement, mais avec un seul testeur mâle. On doit prévoir plusieurs semis successifs de celui-ci afin d'assurer le "nick" ou la coïncidence de la floraison pour chacune des lignées femelles. Les parcelles de croisements isolées peuvent comporter deux rangs de lignées pollinisatrices pour quatre de mâles-stériles, ou un pour deux. Les semis échelonnés des lignées pollinisatrices se feront non pas sur un rang, ou une paire de rangs, mais d'un rang ou d'une paire de rangs à l'autre. Si, dans une paire, un rang est semé le dernier, sa croissance peut être freinée par la compétition de l'autre, et il risque de ne pas être en floraison au moment voulu.

Les croisements d'épreuve devraient porter tant sur les lignées B que sur les lignées R; cependant, le croisement des lignées B avec les testeurs A donnent des hybrides mâles-stériles. Il convient donc de semer deux rangs, en mélange, de lignées mâles-stériles de cycles différents pour six rangs de croisements d'épreuve.

Production de semences

Lorsqu'on pratique des croisements sur de grandes parcelles isolées, l'uniformité des pratiques culturales est un facteur primordial. Par exemple, des différences de fertilité ou d'humidité du sol peuvent amener des réactions différentes des parents et empêcher la coïncidence des floraisons. Les mesures phytosanitaires doivent aussi être excellentes car la sensibilité aux insectes peut varier. Il faut s'assurer que les parents d'introduction récente peuvent être cultivés dans le nouveau milieu avant la vulgarisation de l'hybride lui-même.

S'il apparaît que la floraison des deux parents ne va pas coïncider, il reste possible de manipuler la fumure azotée et l'irrigation pour réduire l'écart. Dans ce but, il est conseillé d'aménager la parcelle de croisements pour l'irrigation à la raie et de dis-

poser les rangs de parents mâles à raison de deux pour quatre ou six rangs de parents femelles. Une fois l'expérience acquise, il est possible de prévoir la possibilité de coïncidence même si les plantes sont assez jeunes.

Si la question se pose à ce stade, l'initiation florale peut servir d'indication. Pour les variétés bien adaptées, celle-ci débute 20 à 35 jours après la levée.

Il est possible de l'observer, lorsque les plantes sont âgées de trois à quatre semaines, grâce à la dissection soigneuse des tiges. Si les ébauches florales sont de dimensions très différentes chez les deux parents, la mise en oeuvre sélective de l'irrigation et de l'azote doit être entreprise rapidement, pour favoriser la lignée en retard (l'irrigation et l'azote accélèrent la floraison).

Si c'est la lignée pollinisatrice qui est en retard, il ne faut mettre en eau que la raie entre ses deux rangs. On peut pulvériser sur ces rangs une solution à 10% d'urée ou incorporer au sol une fumure azotée. Il ne convient pas de faire souffrir l'un ou l'autre des parents, surtout la lignée femelle, car le rendement diminuerait. Toutefois, le maniement rationnel de l'eau et de l'azote peut faire varier la date de floraison de sept jours ou plus.

Si les observations, sur les jeunes plantes, indiquent que les floraisons seront très décalées, on peut couper les deux ou trois feuilles supérieures de la lignée la plus précoce. Il faut une certaine expérience pour prévoir le retard en fonction de l'intensité de cet habillage.

Si la densité de la lignée pollinisatrice est faible, ou si les floraisons coïncident mal, on peut chaque matin, durant toute la période de pollinisation, faire passer dans le champ une poudreuse à moteur (vide) pour souffler le pollen directement sur les panicules femelles. Lorsque la coïncidence des floraisons semble très improbable, il y aurait sans doute lieu de recourir à la pollinisation manuelle, ce qui peut avoir un intérêt pour de petits champs semenciers et si la main-d'oeuvre est abondante.

Un sélectionneur en charge de plusieurs lignées mâles-stériles dans une même parcelle isolée peut se voir contraint à avoir recours à quelques pollinisations manuelles s'il veut obtenir une bonne fertilité pour toutes ses combinaisons.

Le rendement en grains des champs semenciers de la lignée mâle-stérile CK60A a varié de 50 à 300 kg/ha sur les premières parcelles cultivées à titre d'essai, puis est passé de 600 à 1000 kg/ha pour atteindre finalement 1500 à 2500 kg/ha lorsque les producteurs furent devenus plus expérimentés.

Certains faits suggèrent que la fertilité des croise-

ments peut être améliorée par des pulvérisations à base de bore, uniquement sur les lignées mâles. La dose utilisée est de 65 g de borax pour 200 gallons d'eau à l'hectare (756 litres) à ne pulvériser que sur les lignées pollinisatrices.

Données sur les dates de floraison

Il est vraisemblable que les essais préliminaires portant sur les hybrides n'aient lieu qu'en une ou deux localités dans un même pays. Les essais ultérieurs sont en général répartis en plus grand nombre sur l'ensemble du pays, dans des stations expérimentales et, si possible, dans les champs des paysans. En chaque lieu où est implanté un essai d'hybrides, les parents de chacun d'eux devraient être semés, en petite quantité, pour déterminer leur date de floraison à 50%.

Une fois ces données rassemblées pour différentes saisons et différentes localités, on dispose d'une bonne évaluation de la date de floraison lors de la vulgarisation de l'hybride. Une telle information présente un grand intérêt pour les producteurs de semences qui peuvent être amenés à retarder le semis de l'un des parents afin d'assurer la coïncidence des floraisons.

Composites

L'amélioration génétique des populations implique généralement la mise en oeuvre d'une sélection récurrente. Ce qui suit expose l'intérêt de la sélection au sein des populations et décrit certaines techniques de sélection récurrente. Les composites de maïs et de mil ont un potentiel d'utilisation immédiate intéressant pour les cultivateurs. Toutefois, les composites de sorgho gardent un aspect hétéroclite persistant et n'engagent guère à les proposer tels quels aux cultivateurs.

Il est possible que ce problème puisse être résolu si l'on arrivait à créer ces composites à partir de lignées ayant le même type de panicules.

Les composites présentent un grand intérêt pour le sélectionneur de sorgho en tant que source inépuisable d'introductions nouvelles dans sa collection de travail. Les lignées entrant dans un composite peuvent être choisies soit sur leurs résultats en essais de rendements, pour leur vaste adaptabilité régionale, leur architecture végétale, leur résistance à la sécheresse, leur résistance aux maladies et aux ravageurs, etc. Il faut attacher une extrême importance à l'évaluation approfondie des

lignées avant leur intégration dans un composite. Un composite peut intégrer un nombre quelconque de lignées, et de nouvelles variétés peuvent y être incorporées pratiquement à tout moment. Un composite peut être basé sur un type variétal unique, diversifié par descendance d'un seul croisement, ou peut intégrer plusieurs centaines de lignées. Le nombre des composants retenus dépend du but poursuivi, mais dix à vingt lignées soigneusement choisies donnent satisfaction dans la plupart des cas.

Si l'on y fait entrer de nouvelles lignées, il faut veiller à ce que le composite demeure équilibré : par exemple, il ne faut pas mélanger des quantités égales de semences de la nouvelle introduction et du composite lui-même. Si le composite est en début d'élaboration, il est possible de mélanger cinq à dix grammes de la nouvelle introduction à 1000 grammes du composite. Quand le composite a été sélectionné au cours de plusieurs générations, il est conseillé de croiser et de récroiser les nouvelles introductions avec lui. Si les descendances semblent apporter quelques progrès, on peut les intégrer dans le composite à titre de lignées sélectionnées avant recombinaison. On peut aussi faire un "sidecar" en croisant le composite original avec la nouvelle introduction, et en le récroisant en tant que parent récurrent. La sélection est poursuivie tant dans le composite d'origine, que dans le sidecar, de sorte que les deux populations sont améliorées simultanément. Cette technique permet de préserver l'excellence du composite original.

Il convient d'assurer des fécondations aléatoires, avec une pression de sélection très faible, au cours d'environ trois générations suivant le mélange des lignées. Ceci permet la recombinaison des caractères (rupture des groupes de linkage) avant le début de la sélection. On peut, à ce stade, éliminer les plantes vraiment très défectueuses, mais il faut conduire environ 90% de la population jusqu'à la génération suivante. Chaque population doit comporter au moins 2000 plantes.

Lors de l'élaboration d'un programme d'hybridations, il y a lieu de décider si une variété donnée a un hybride fertile ou mâle-stérile après croisement avec une lignée à stérilité mâle cytoplasmique, c'est-à-dire si l'on en fera une lignée B ou une lignée R. Les lignées non restauratrices (B) peuvent se combiner dans un composite et les lignées restauratrices (R) en un autre.

Par la suite, la sélection à l'intérieur de ces deux types de composites pourra mettre en évidence des parents de valeur pour la création d'hybrides.

Le sorgho est essentiellement autogame, et la

plupart des sélectionneurs préfèrent incorporer au composite l'un des gènes récessifs simples de stérilité mâle (ce mécanisme de stérilité mâle diffère du système cytoplasmique décrit plus haut). Le gène ms_3 est fréquemment mis à contribution à cet effet, bien que les gènes ms_7 et $a/$ sans anthère (antherless) aient aussi leur intérêt.

D'autres loci portent des gènes responsables de la stérilité mâle, mais ceux cités plus haut assurent une bonne expression de la stérilité mâle dans la plupart des conditions de milieu.

L'incorporation de la stérilité mâle est extrêmement aisée une fois le composite créé. Chacune des lignées est croisée avec le donneur de stérilité mâle. On peut utiliser, pour chaque croisement, le pollen de plusieurs panicules. La F_1 est fertile car ces facteurs de stérilité mâle sont récessifs. Elle doit être autofécondée, et l'on peut récroiser les mâles-stériles de la F_2 , les lignées à introduire dans le composite étant les parents récurrents. Un ou deux récroisements devraient suffire avant le mélange des lignées. L'utilisation d'un composite comme source de stérilité mâle assure un arrière plan génétique plus vaste que celle d'une variété unique et doit être considérée, en général, comme préférable.

Les facteurs génétiques gouvernant la haute taille et la tardivité sont dominants. Une population en pollinisation libre aura donc tendance à devenir de plus haute taille et plus tardive. Il y aura lieu d'appliquer une pression de sélection pour l'éviter (si nécessaire), particulièrement dès la fin de la troisième génération de recombinaison. Il peut se révéler utile, à ce stade, d'éliminer toutes les plantes très hautes et très tardives. Ceci doit être fait avant qu'elles n'émettent leur pollen, pour éviter la transmission de ces gènes indésirables à la population.

Il est impossible de différencier, à maturité, les panicules normales et les panicules mâles-stériles. Au cours de la période des récroisements, et de l'introduction de la stérilité mâle, la lignée apportant la stérilité mâle peut être semée sur une parcelle, et les lignées destinées à entrer dans le composite (parents mâles) sur une autre. Les plantes mâles-stériles sont identifiées par des étiquettes attachées à leur pédoncule au moment de la floraison. S'il est intéressant de connaître leur cycle, il y a lieu d'y inscrire la date de floraison.

Les plantes d'un composite nouveau n'ont en général pas la stature de lignées sélectionnées. Si l'on a fait appel à des variétés élite d'aspect similaire, on peut s'attendre à ce que le composite soit plus uniforme, et plus vigoureux au début, mais avec une diversité génétique faible de la population. Si le

composite comporte un grand nombre de lignées diverses, la population sera moins uniforme et moins vigoureuse; mais elle aura une grande diversité génétique. Les objectifs du sélectionneur déterminent la façon dont est réalisé le composite. Le rendement d'ensemble d'un composite s'améliore au cours des générations successives de sélection, donnant ainsi à la population une valeur supérieure en tant que source de matériel végétal nouveau pour la collection de travail et même éventuellement pour l'usage des cultivateurs.

Désignation des populations de sorgho par des symboles

Un système de désignation des populations par des symboles a été défini à la réunion des sélectionneurs de sorgho à l'Université du Nébraska, en 1970. Celui-ci a été approuvé, par la suite, par la Seventh Biennial Sorghum Research and Utilization Conference, à Lubbock, Texas, en mars 1971. Ce système, présenté dans *Sorghum Newsletter* se définit, pour l'essentiel, de la façon suivante :

- une désignation abrégée de la station, de l'état, de la province ou du pays;
- la lettre "P", indiquant qu'il s'agit de populations;
- l'inclusion des lettres "B", "R", ou "B et R" pour indiquer si la population se compose de lignées restauratrices (R) ou non restauratrices (B) pour des lignées à stérilité mâle cytoplasmique, ou s'il s'agit d'un mélange de ces deux types de lignées;
- l'identification, entre parenthèses, du mode de sélection. Les symboles proposés sont :
 - M = Sélection massale;
 - H = Sélection par familles "half-sib" (de demi-frères et demi-soeurs);
 - F = Sélection par familles "full-sib" (de frères);
 - S = Evaluation de descendances auto-fécondées;
 - R = Sélection récurrente réciproque;
 - FR = Sélection réciproque en "full-sib".
- le symbole "Cn" figure en dernier, "C" désignant le cycle de sélection et "n" le numéro d'ordre de celui-ci.

Par exemple, dans ce système, NESP 1 R (M) C3 signifierait qu'il s'agit de la population numéro un du Near East Sorghum Improvement Program. La population a le caractère de restaurateur et en est à son troisième cycle de sélection massale.

Lorsqu'une population est envoyée d'une station à une autre, la station réceptrice devrait y accoler ses propres symboles dès le début du processus de sélection. Il faut mentionner la station expéditrice lors de l'envoi éventuel de la population à d'autres stations. Ceci permet de créditer chacun pour sa participation et facilite la tenue à jour de l'historique de la sélection.

Techniques de sélection

Après la réalisation d'un composite, suivie, pendant environ trois générations, de fécondations aléatoires avec une faible pression de sélection, celui-ci peut être soumis à une sélection plus poussée, dans diverses directions. Si le processus de sélection est cyclique, comportant une phase de tests ou d'évaluation, suivie d'une phase de recombinaisons, on dit en général qu'il s'agit d'une "sélection récurrente".

Un certain nombre de modes de sélection sont mis en oeuvre (leur liste figure ci-dessus avec leurs symboles). Tous peuvent être l'objet de modifications. Le mode de sélection utilisé est fonction d'un grand nombre de facteurs; par exemple, le degré d'héritabilité du caractère concerné. La sélection massale a son utilité si le caractère a une héritabilité forte, mais l'est comparativement moins en cas de faible héritabilité. Le nombre des générations qu'il est possible d'élever par an, les moyens budgétaires et le personnel disponible, le niveau d'allogamie, le recours à la stérilité mâle, constituent des facteurs importants pour le choix d'un mode de sélection pour les composites. Chacun de ces modes de sélection est décrit ci-dessous.

(Lorsque les essais de rendement font partie du mode de sélection, il vaut mieux disposer d'un nombre de répétitions réduit, en de nombreuses localités, que de nombreuses répétitions en un seul lieu. Par exemple deux répétitions en trois ou quatre lieux plutôt que quatre en un seul endroit. Ceci permet de ne retenir que des composites dont les résultats sont plus stables dans différents environnements).

Sélection massale

Cette technique, facile à mettre en oeuvre, est efficace si le caractère recherché possède une forte héritabilité. Elle l'est d'autant plus que la population traitée est très hétérogène. Lonquist (1964) en a énuméré les avantages et les inconvénients :

chaque cycle de sélection ne porte que sur une seule génération, alors que d'autres méthodes en demandent davantage. Il est possible d'échantillonner un pool de germplasma très vaste (alors que tout système impliquant la réalisation d'essais de rendements limite le nombre des échantillons à évaluer). La limite la plus évidente de ce système est qu'il s'agit d'une sélection phénotypique, réalisée sur un seul semis. La sélection phénotypique peut n'avoir aucune efficacité sur les génotypes, particulièrement au bout de plusieurs générations, quand les plantes composant la population ont des comportements semblables, et bons.

Pour la sélection massale, les plantes doivent être très espacées. Les doses de semis recommandées pour une culture normale doivent être réduites. Comme cette sélection se base sur les phénotypes individuels, chaque plante doit pouvoir exprimer tout son potentiel.

Dogget (1972) décrit deux systèmes pour la sélection massale : (1) Seules les semences de quelques plantes mâles-stériles bien choisies sont récoltées. On en constitue un bulk dont le semis donne la population soumise au second cycle de sélection. (2) Le premier cycle de sélection sert à choisir des plantes mâles-stériles, et le second des plantes mâles-fertiles. Le cycle suivant ne porte que sur des plantes mâles-stériles et ainsi de suite, en alternant. Ce système est connu sous le nom de "choix alterné".

Sélection par familles half-sib

Ce système est facile à mettre en oeuvre pour une population de sorghos à laquelle a été conférée la stérilité mâle (Gardner 1972). Les individus mâles-stériles de la population sont étiquetés au moment de la floraison et on les laisse en pollinisation libre. Chaque panicule est récoltée et battue à part, sa semence constituant l'un des objets d'un essai de rendements (phase d'évaluation). On conserve un talon de ces semences. Les meilleures sont choisies d'après les résultats de l'essai, on mélange leurs talons pour constituer un bulk dont le semis prélude à la phase de recombinaison. Les plantes mâles-stériles sont à nouveau étiquetées et récoltées individuellement pour un nouveau cycle d'évaluation. Cette méthode porte le nom de sélection par familles "half-sib", car un seul des deux parents, le mâle-stérile, fait l'objet d'une sélection. Comme ces lignées sont en pollinisation libre, les parents mâles ne sont pas connus. Les grains récoltés sur chaque panicule constituent une famille.

Lonnquist (1964) et Webel et Lonnquist (1967) ont défini une méthode modifiée de sélection "épi à la ligne" pour le maïs qui équivaut à une sélection par familles "half-sib". Ils ont commencé avec la variété de maïs "Hays Golden", en pollinisation libre.

Des plantes choisies au hasard dans cette variété ont été croisées, chaque épi croisé donnant une famille full-sib soumise à un test de rendement (les deux parents étant connus ou ayant fait l'objet d'une sélection). Chaque famille full-sib constitue l'un des objets d'un essai de rendements, avec répétitions, et l'on ne retient que les meilleures, à raison de 20% de l'ensemble. Les talons de ces meilleures familles sont semés dans une parcelle de croisements isolée. Le bulk de ces familles étant utilisé comme donneur de pollen. Les rangs correspondant à chaque descendance (famille) sont dépouillés de leurs spathes et, à la récolte, les épis des cinq meilleurs plants de chaque rang sont prélevés. Un total de 219 épis, 5 de chacune des 43 familles et 4 provenant d'autres familles constituent la population cultivée lors de chaque cycle. Chaque épi représente une famille half-sib (source de pollen non sélectionnée). Ces familles half-sib sont semées dans un essai en triple lattice de 15 × 15 en trois endroits différents. La variété d'origine en pollinisation libre, et un double hybride y sont inclus. Les parcelles élémentaires sont constituées de 8 touffes, avec 4 graines par touffe, démariées à 2 plantes par touffe par la suite.

L'un des sites de test est consacré à un essai de rendement associé à une parcelle de croisements. Quatre blocs de lignées femelles et deux blocs de lignées mâles sont disposés en alternance. Les rangs mâles sont constitués de quantités égales de semences provenant des 219 épis sélectionnés. Dès la floraison, les rangs femelles, la variété en pollinisation libre et les témoins hybrides sont dépouillés de leurs spathes. Lors de la récolte, cinq épis sont choisis, ensachés à part, et leur rendement comparé au rendement global du reste de la parcelle. Les semences des cinq épis de chacune des 44 meilleures familles sélectionnées constituent les familles half-sib introduites dans le cycle de sélection suivant.

Eberhart (communication particulière) nous décrit le procédé de sélection du composite de sorgho KP5(s) conçu par Jack Cassady à l'Université de l'Etat du Kansas, Etats-Unis, pour accroître le rendement ainsi que la résistance aux insectes et aux maladies. Celui-ci marie la sélection massale, la sélection half-sib, ainsi qu'une sélection S_1 en fonction des facteurs de rendement. Eberhart souligne l'efficacité de ce système, pour une culture auto-

game comme le sorgho, dès lors que l'on dispose d'une stérilité génétique. Les étapes, à chaque cycle successif sont décrites ci-dessous :

1. Un bulk de semences provenant des plantes mâles-stériles est semé en parcelles isolées. Six cent plantes mâles-stériles (familles half-sib) sont choisies et égrenées individuellement.
2. Ces 600 familles half-sib sont criblées à la levée pour leur résistance au mildiou *Sclerospora sorghi* et à *Schizaphis graminum*. On repique les plantes résistantes à *Sclerospora sorghi* et les familles half-sib résistantes à *Schizaphis graminum* et au mildiou sont semées à partir des talons. On sélectionne un millier de plants mâles-stériles à la récolte.
3. Les graines de ces 1000 plantes (familles half-sib) sont cultivées en panicules-lignes, c'est-à-dire que les graines d'une même panicule sont cultivées sur un même rang. Ceci a été réalisé en contre-saison, à Porto Rico. A la récolte, on choisit une panicule fertile de 500 de ces rangs (familles) résistants à *Schizaphis graminum* et à *Periconia*, dans la mesure où les données pertinentes sont disponibles à la récolte, c'est-à-dire si des attaques ont eu lieu au cours de la campagne, permettant la sélection. En cas contraire, les plantes ayant les meilleures caractéristiques, soit pour leur production de grains, soit en tant que fourrage, sont choisies. Chaque panicule fertile fournit une famille S_1 .
4. Une seconde génération en contre-saison (février à mars), permet d'évaluer la résistance de ces 500 lignées (plantes fertiles S_1 auto-fécondées) au mildiou (*Sclerospora sorghi*). Un lattice simple de 10×10 englobe les lignées de 1 à 100 et une simple répétition du dispositif les 400 lignées restantes. Les 200 familles S_1 ayant la meilleure résistance au mildiou et à *Schizaphis graminum* sont retenues pour les essais de rendements des familles S_1 .
5. Les essais de rendements S_1 sont réalisés, en saison, avec 200 lignées S_1 en deux lattices simples 10×10 en deux localités. 10 lignées sont sélectionnées à partir de chacun d'eux (sélection de familles S_1).
6. Les mêmes 500 lignées sont cultivées dans une collection d'observation pour la résistance au virus de la mosaïque nanisante du maïs (MDM), mettant en oeuvre des lattices simples de 10×10 à une répétition pour chacune des deux localités. Les 5 à 15 lignées dotées de la plus forte résistance (et non retenues dans les essais de rendement), sont choisies et introduites dans le

cycle suivant comme résistantes à MDM ("maize dwarf mosaic").

7. Les mêmes 500 lignées sont cultivées (en saison), dans une collection d'observation pour la résistance à l'antracnose. Cinq à 15, parmi celles qui se sont montrées résistantes, mais n'ont pas émergé des essais de rendements, sont choisies et introduites dans le cycle suivant comme résistantes à l'antracnose.
8. Les mêmes 500 lignées sont cultivées dans la Texas Downy Mildew Nursery pour la résistance au mildiou (*Sclerospora sorghi*). Cinq à 15 d'entre elles, non retenues à la suite des essais de rendements, sont choisies et introduites dans le cycle suivant comme résistantes au mildiou.

(La sélection massale pour la résistance aux maladies, mentionnée aux paragraphes 6, 7 et 8 ci-dessus, peut ne pas être prise en considération, si les maladies sont sans importance. Elle ne peut alors que ralentir l'amélioration du rendement).

9. Les mêmes 500 lignées sont cultivées dans la collection de travail classique. Les plantes fertiles sont étiquetées et les 20 meilleures rangs sont choisies lors de la récolte.
10. On constitue un bulk à partir de 10 des plantes sélectionnées parmi les 20 S_1 retenues pour leur rendement (en 9). Les graines retenues pour leur résistance à MDM, au mildiou, et à l'antracnose constituent autant de bulks séparés. Ceux-ci sont cultivés en parcelle d'isolement en contre-saison, en rangs alternés : haut rendement, MDM, rendement, mildiou, rendement, antracnose, rendement, MDM, rendement, etc. Les plantes stériles sont étiquetées et on en sélectionne 600 à la récolte (familles half-sib) pour le cycle suivant. Trois cents d'entre elles entreront dans les essais de rendement, cent pour les essais de résistance à MDM, cent pour les essais de résistance au mildiou, et cent pour les essais de résistance à l'antracnose. Ceci débute le second cycle de sélection.

Si la sélection a pour objectif la résistance à une maladie particulière, ou à un insecte, ou une caractéristique de qualité, ou l'acquisition d'un caractère déterminé, on peut avoir recours au système décrit ci-après (celui-ci est l'oeuvre de Cassady, pour le composite de sorgho KP2 (SD)) :

1. Cultiver, hors saison, 1000 descendances de plantes mâles-stériles (familles half-sib) en collection de travail; à la récolte, conserver une

- panicule fertile pour environ 500 plantes convenables.
- Cultiver 500 lignées (en panicules-lignes) dans une collection d'observation pour la résistance au mildiou (résistance au champ) avec deux répétitions pour les 100 premières et une pour les autres. La résistance est évaluée sur les jeunes plantules.
 - Choisir 10% des meilleures lignées résistantes au mildiou et en constituer un bulk à partir des talons de ces lignées S_1 (les panicules fertiles mentionnées en paragraphe 1). Semer ces 50 familles S_1 en parcelles isolées, et étiqueter, à la floraison, les plantes mâles-stériles. Récolter 300 plants mâles-stériles (half-sib aussi bien de type céréalier que de type fourrager), les égrener individuellement, et les faire passer en collection de contre-saison pour débiter le cycle suivant. Après le premier cycle de sélection, il sera sans doute possible de limiter le nombre de panicules fertiles à choisir à 100 ou 200 par cycle, plutôt qu'à 500.

Sélection par familles full-sib

L'utilisation de la stérilité mâle permet la sélection par famille full-sib dans les composites de sorgho. Une famille full-sib est créée par le croisement d'un parent mâle-stérile sélectionné, par un parent mâle-fertile également sélectionné. Il y a lieu d'évaluer les familles full-sib (essais de rendements) et les talons des lignées retenues sont ensuite mélangés (bulks) pour assurer des recombinaisons. On effectue ensuite des croisements entre plantes mâles-fertiles, et l'on répète ce cycle (Gardner 1972).

Un système de sélection par famille full-sib a été décrit, pour le maïs, par Moll et Robinson (1966). Ils ont fait appel à trois populations différentes : deux variétés en pollinisation libre (Jarvis et Indian Chief), et une F_2 : $(NC7 \times CI21)F_2$. Les processus de croisement sont les mêmes pour les trois populations. Les familles à tester sont constituées en croisant des plantes choisies au hasard comme parents mâles avec chacune quatre plantes femelles (donnant ainsi quatre familles full-sib par parent mâle).

Ces familles sont divisées en lots de quatre groupes mâles (16 familles) et figurent dans des essais de rendements à deux répétitions. Les talons de semences des familles ayant les meilleurs rendements sont multipliés pour fournir la population soumise au cycle de sélection suivant.

Cette population est composée comme suit : on

réalise des croisements individuels de plante à plante, tels que les membres d'une même famille soient croisés avec des membres de huit autres familles non apparentées à celle-ci. On utilise des nombres approximativement égaux de représentées de chacune des familles pour les croisements inter-familiaux.

Ce système peut être représenté de la façon suivante (en supposant que l'on traite la population $(NC7 \times CI21)F_2$) :

Plantes mâles choisies au hasard		Plantes femelles
1	×	a, b, c, d
2	×	e, f, g, h
3	×	i, j, k, l
4	×	m, n, o, p
5	×	q, r, s, t
n		

$1 \times a$ est une famille full-sib; on constitue des combinaisons :

$$\begin{array}{l}
 1 \times a, \quad 1 \times b, \quad 1 \times c, \quad 1 \times d \\
 2 \times e, \quad 2 \times f, \quad 2 \times g, \quad 2 \times h \\
 3 \times i, \quad 3 \times j, \quad 3 \times k, \quad 3 \times l \\
 4 \times m, \quad 4 \times n, \quad 4 \times o, \quad 4 \times p
 \end{array}$$

Cet ensemble est mis en essais de rendements, avec deux répétitions.

Les talons de semences des familles dont les rendements sont les plus élevés ($1 \times a$, $1 \times b$, etc.) sont remis en culture pour constituer la population soumise au cycle de sélection suivant.

On fait, à nouveau, des croisements individuels de plante à plante de sorte que chaque représentant d'une famille soit croisé avec huit autres familles.

En gros, les mêmes nombres de plantes de chaque famille participent à ces croisements inter-familiaux.

Par exemple, les essais de rendement ont désigné les familles suivantes :

$$\begin{array}{l}
 1 \times a, \quad 1 \times c, \quad 2 \times f, \quad 3 \times j, \quad 3 \times e, \quad 3 \times l, \\
 4 \times m, \quad 4 \times n, \quad 5 \times r, \quad 5 \times s, \quad 5 \times t.
 \end{array}$$

Les croisements individuels entre plantes ont donc été :

$$\begin{array}{ll}
 (1 \times a) \times (2 \times f) & (1 \times a) \times (4 \times n) \\
 " \times (3 \times j) & " \times (5 \times r) \\
 " \times (3 \times l) & " \times (5 \times s) \\
 " \times (4 \times m) & " \times (5 \times t)
 \end{array}$$

Le même nombre de croisements (disons trois) a été réalisé pour chacune des combinaisons entre deux familles; c'est-à-dire que trois plantes ($1 \times a$) ont été croisées avec 3 plantes ($2 \times f$), trois plantes ($3 \times j$), etc.

Les pedigrees sont notés de façon à ce que le registre se présente comme suit (en supposant que les plantes soient numérotées sur les rangs de la parcelle) :

(1 × a)-1	×	(2 × f)-5
(1 × a)-3	×	(2 × f)-2
(1 × a)-12	×	(2 × f)-10
(1 × a)-21	×	(3 × j)-15

(-1, -5, -3, etc., représentent les numéros des différentes plantes dans la parcelle).

Les croisements sont organisés de façon à minimiser la consanguinité (on ne réalise pas, par exemple, le croisement $(1 \times a) \times (1 \times c)$ car le parent 1 est commun). On fait en sorte qu'il y ait jamais de parents communs dans un croisement.

Ces croisements sont introduits dans des essais de rendements : par exemple, $(1 \times a)-1 \times (2 \times f)-5$, famille full-sib constitue l'un des objets de l'essai; $(1 \times a)-3 \times (2 \times f)-2$ figure dans une autre parcelle, etc. En même temps, on sème des grains de l'épi $(1 \times a)-1 \times (2 \times f)-5$ qui donnent les plantes isolées destinées à fournir la semence des entrées sélectionnées pour la parcelle de recombinaison au cycle suivant.

Evaluation des descendance autopollinisées, ou sélection des familles S_1

La sélection des familles S_1 est l'un des systèmes de sélection parmi les plus efficaces pour le sorgho (Gardner 1972). Les panicules de plantes mâles-fertiles sont ensachées lors de la floraison, pour assurer leur autofécondation, ou simplement étiquetées à ce moment pour garantir, lors de la récolte, qu'il s'agit de panicules mâles-fertiles et non pas de mâles-stériles. Ces panicules sélectionnées sont récoltées et battues individuellement, chacune d'elles constituant une famille S_1 . Celles-ci entrent en essais de rendements.

Les talons des familles retenues, en fonction de ces essais, sont cultivées, et des semences des panicules mâles-stériles retenues pour assurer la recombinaison.

Les semences provenant des panicules mâles-stériles sont alors mélangées et cultivées. Les

panicules mâles-fertiles des meilleures plantes sont identifiées en vue d'essais destinées à amorcer le cycle de sélection suivant.

Dogget et Eberhard (1968), ont décrit un système pour la sélection de composites en Ouganda, où la pluviosité permet deux cultures par an. Il porte sur deux types de populations. La population 1 est homozygote pour les caractères génétiques restaurateurs jouant en cas de stérilité cytoplasmique. Elle est constituée de 121 lignées croisées et rétrocroisées vers le gène ms_3 . La population 2 est constituée de lignées de type B non restauratrices, à partir de 101 lignées B élite croisées et rétrocroisées vers un parent ms_3 .

Deux parcelles de 800 individus, ou plus, de chacune de ces deux populations sont semées en un même lieu au cours des premières pluies. Ainsi, 800 individus, ou plus descendent de panicules mâles-stériles de la population 1 et 800 de la population 2. Ces individus sont plantés en blocs de 20 à 40 pour réduire l'influence de l'hétérogénéité du milieu. Une panicule prélevée sur une bonne plante mâle-fertile (famille S_1) est choisie à partir des 30 à 50% meilleures panicule-lignes (celles-ci étant considérées comme autogames en raison de la faiblesse du taux d'allogamie).

Les collections à deux ou trois répétitions, comportant 400 numéros ou plus, sont mises en place en autant de localités que possible. Les talons de semences de chacune des familles S_1 sont conservés, puis multipliés, si nécessaire, et l'on identifie les 10 à 20% de numéros donnant les meilleurs rendements dans ces collections.

Les talons des familles S_1 correspondantes sont cultivés en bulk. Les panicules mâles-stériles sont identifiées et étiquetées. Les plantes mâles-stériles indésirables sont éliminées avant qu'elles n'émettent leur pollen. Lors de la récolte, la sélection se fait parmi les plantes étiquetées. Elle commence au cycle suivant.

Avec ce système des S_1 élite peuvent être prélevées à chaque cycle, et multipliées pour donner des lignées par sélection généalogique. Il est possible d'adjoindre du matériel végétal nouveau à chacune de deux populations à tout moment en le mélangeant aux bulks des S_1 sélectionnées avant la phase de recombinaison, ou en rétrocroisant et en mélangeant les descendance sélectionnées avec le bulk des semences S_1 .

On peut créer, n'importe quand, une population mâle-stérile (2-A) en croisant et en rétrocroisant la population 2B avec un parent de stérilité mâle cytoplasmique. Dans le cas d'un programme d'hybridations, il faudra croiser des individus de la population

1 avec la population 2-A. Le choix de familles S_1 de la population 1 pour la recombinaison au cycle suivant se base sur les résultats donnés par ces croisements lors des essais de rendements.

Sélection récurrente

Ce terme correspond à des systèmes de sélection cycliques dans les composites. Les termes de "sélection massale, sélection en half-sib", etc., impliquent des processus de sélection particuliers, tous étant des formes de sélection récurrente.

On peut citer plusieurs modes de sélection sous cet en-tête; tous font appel à la procédure suivante :

1. On choisit des plantes intéressantes dans une population en pollinisation libre. Celles-ci sont autofécondées au cours d'une campagne de culture.
2. Ces mêmes plantes sont croisées avec un testeur (top-cross) et l'on évalue leur rendement ainsi que toutes autres caractéristiques importantes. Ces croisements peuvent être réalisés en même temps que les autofécondations.
3. Les talons des lignées sélectionnées autofécondées à partir des top-cross sont croisés entre eux.
4. Ce cycle se répète.

Si le testeur utilisé pour le top-cross est la population en bulk dont ont été tirées les lignées autofécondées, le test porte sur l'aptitude générale à la combinaison. Si le testeur est une lignée autofécondée, le test concerne l'aptitude spécifique à la combinaison. Ce terme d'*aptitude générale à la combinaison* est utilisé pour des plantes, ou des populations, susceptibles d'être croisées avec une gamme étendue d'autres plantes, ou testeurs (ayant des patrimoines génétiques différents), tous les croisements donnant de bons résultats. Le terme d'*aptitude spécifique à la combinaison* est utilisé pour des plantes, ou des populations, se comportant bien pour le croisement avec une lignée autofécondée, c'est-à-dire une *entité génétique bien définie*. (Leurs résultats sont variables, bons avec certaines lignées homozygotes mais pas avec d'autres). Ces termes n'ont de signification que dans le domaine des croisements. N'importe quelle lignée, ou variété, peut avoir, si elle est hybridée, une bonne aptitude générale et spécifique à la combinaison, mais, dans sa culture en tant que telle, la notion est hors de propos. Pour le sorgho (population dotée de la stérilité mâle), le test porte sur l'aptitude générale à la combinaison, sous une forme ou une autre de sélection de familles half-sib.

Sélection récurrente réciproque

Un programme de sélection mettant en oeuvre la sélection récurrente réciproque implique l'existence de deux populations, chacune d'elles étant mise à contribution pour fournir le matériel végétal destiné à la multiplication de ces populations, d'une part, et de l'autre à servir de testeur pour l'autre population. Des plantes individuelles S_0 (F_1) de la population A sont autofécondées et dans le même temps croisées avec plusieurs plantes de la population B. De même, des plantes individuelles S_0 de la population B sont autofécondées et, dans le même temps, croisées avec plusieurs plantes de la population A. Ceci donne un matériel végétal destiné à entrer dans deux séries de croisements d'épreuve (test-cross). Les semences de plantes S_1 (plantes S_0 autofécondées) choisies en fonction des résultats des test-cross sont croisées entre elles. Les plantes S_1 de la population A donnent une nouvelle population A_1 et celles de la population B une nouvelle population B_1 . Ce cycle se répète par la suite. L'objectif final du système est de fabriquer des hybrides, utilisables en grande culture, entre lignées tirées des deux populations. Ceci peut se faire à n'importe quel stade de la sélection, depuis le croisement entre les deux populations, jusqu'aux croisements entre lignées pures tirées de ces deux populations.

Pour le sorgho, les caractéristiques des deux populations pourraient être les suivantes :

Population A - Pour créer des lignées de type R (ou parents donneurs de pollen dans un programme d'hybridation) :

- Stérilité mâle de type génétique
- Cytoplasme d'un type ou de l'autre
- Fréquence élevée des gènes de restauration de la fertilité cytoplasmique (à partir de lignées de type R).

ou bien

- Stérilité mâle de type cytoplasmique
- Cytoplasme stérile (lignées de type A)
- Fréquence optimum des gènes de restauration cytoplasmique (lignées de type R; revoir le texte relatif à la production des hybrides de sorgho en cas de non familiarité avec cette terminologie).

Population B - Pour créer des lignées de type B, c'est-à-dire jouant le rôle de mainteneur pour les parents femelles (lignées de type A) des hybrides. Les lignées B ne restaurent pas la fertilité mâle des

descendances des croisements avec les lignées de type A :

- Stérilité mâle génétique
- Cytoplasme fertile
- Fréquence élevée de gènes non restaurateurs de la stérilité mâle de type cytoplasmique (à partir de lignées de type B)

On laisse d'abord des recombinaisons aléatoires s'opérer durant trois générations successives, avec une faible pression de sélection, comme vu plus haut. Un choix de plantes mâles-stériles compose la population qui sert de base au programme de sélection réciproque. Un cycle se déroule ainsi :

Phase 1 :

- (a) Sélectionner parmi les plantes fertiles de la population A (les ensacher ou les étiqueter pour identification lors de la récolte). Les croiser avec plusieurs panicules mâles-stériles de la population B.
- (b) Sélectionner parmi les plantes fertiles de la population B et croiser ces plantes avec plusieurs plantes stériles, prises au hasard, de la population A. (Noter qu'il faut conserver l'identification de la plante fertile et de ses croisements avec des mâles-stériles).

Phase 2 : Réaliser des essais de rendements, à raison de deux répétitions en différentes localités. Si la population A est dotée de stérilité mâle cytoplasmique, il apparaîtra, au cours de l'essai, des plantes mâles-stériles. Il y a lieu de s'assurer que les quantités de pollen disponibles sur le champ tout au long de la période de floraison de l'essai sont suffisantes, même si la source de pollen est une population hétérogène.

Phase 3 : Sur la base des résultats des essais de rendements, on sélectionne des plantes fertiles à partir de la phase 1 (a et b), que l'on bulke et que l'on cultive en parcelles d'isolement. Les panicules mâles-stériles sont laissés en pollinisation aléatoire. On les marque lors de la floraison (étiquettes ou peinture par bombe aérosol).

On récolte les grains des plantes mâles-stériles de chacune des populations A et B, qui forment de nouvelles populations dans lesquelles des plantes mâles-fertiles sélectionnées seront choisies et

croisées avec des testeurs de l'autre population.

Phase 4 : Répéter l'ensemble du cycle.

Techniques d'accélération du progrès de la sélection

Le taux de progrès (gain de rendement dans une population) dépend d'un certain nombre de facteurs, dont le sélectionneur doit être conscient dans sa situation particulière, de façon à pouvoir choisir le mode de sélection à mettre en oeuvre. Eberhart (1970) a examiné la question en détail. Les points essentiels en sont présentés ci-dessous.

L'un des moyens d'accroître le gain de rendement pour chaque cycle de sélection est d'augmenter la variabilité génétique additionnelle, c'est-à-dire de maximiser la diversité des introductions dans le composite. Il faut alors faire appel à des collections et à du matériel végétal originaires de nombreuses régions du monde.

Le taux de progrès peut être accru en intensifiant la sélection, c'est-à-dire en se restreignant aux vraiment meilleurs des meilleurs individus d'un composite pour former celui du cycle de sélection suivant. La plupart des sélectionneurs de maïs ne retiennent que 20 à 40 lignées pour la recombinaison à chacun des cycles. Le problème est alors (notamment lorsque les descendances font l'objet d'essais) d'avoir des échantillons suffisants pour être représentatifs de la variabilité d'une population. En sélection massale, il est souhaitable de travailler sur une population ayant une large base génétique, en conservant de 25 à 30% à chaque cycle successif, de sorte que cette population, même soumise à une sélection intense, puisse faire l'objet d'introgresions périodiques. Ceci peut se faire en croisant les mâles-stériles de la population très sélectionnée par le pollen du composite à base génétique étendue. De telles introgresions sont particulièrement intéressantes quand les gains de rendements, à chaque cycle successif, commencent à se ralentir.

Il est possible d'accélérer ces gains avec deux ou trois cultures par an, en faisant appel à des parcelles cultivées hors-saison : par exemple, en cultivant dans une localité où il fait chaud en hiver et/ou en irrigant en saison sèche. La méthode de sélection à mettre en oeuvre dépend du nombre des cultures réalisables au cours de l'année, ou, d'une façon plus générale, de la rapidité avec laquelle chacun des cycles de sélection peut être mené à bien.

L'amélioration des pratiques culturales permet d'accroître le gain de rendement que l'on peut

espérer à chaque cycle. La sélection est d'autant plus précise que la culture est mieux conduite, et, avec une technique convenable, elle peut porter sur un plus grand volume de matériel végétal. Des techniques telles que les suivantes peuvent avoir leur intérêt :

- Les essais de rendements ne doivent être implantés que sur des parcelles ayant porté, l'année d'avant, une culture uniforme, de façon à avoir une homogénéité maximum.
- La culture doit être bien conduite. La tumure doit être assez abondante pour minimiser la variabilité au sein d'une même répétition. L'irrigation, la lutte phytosanitaire, le désherbage, constituent des facteurs importants pour l'expression correcte des plantes.
- Le dispositif de l'essai peut avoir son importance (pour le maïs, au Kenya, l'utilisation du dispositif en lattice a permis d'éliminer une certaine partie de la variance statistique aléatoire).
- Le nombre de plantes par parcelle a son importance (avec le composite de maïs KCA, au Kenya, les accroissements de rendement obtenus avec plus de 15 à 20 plantes par parcelle sont faibles, Figure 4.1). Il est possible de tester davantage de descendances-lignes avec des parcelles plus petites, ce qui permet un meilleur échantillonnage de la population.
- Lorsque la variabilité génétique de la population est forte, il s'est révélé préférable d'avoir quelques répétitions en de nombreuses localités plutôt que de nombreuses répétitions en un seul

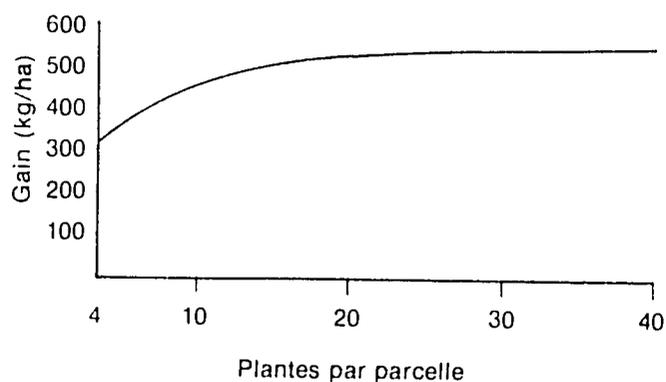


Figure 4.1: Influence du nombre de plantes par parcelle sur le gain de rendement.

Cette figure illustre la relation entre le gain de rendement et le nombre de plantes par parcelle élémentaire pour un composite de maïs KCA essayé au Kenya en quatre localités, avec deux répétitions (Eberhart 1970).

endroit. (Pour les composites de maïs, au Kenya, deux répétitions en quatre localités se sont révélées efficaces. Le coût de la réalisation d'essais en plus de quatre localités ne se justifiait pas en regard du gain de rendement qui en résultait).

Un certain nombre de points ci-dessous sont illustrés par les figures suivantes :

Il est à noter que la différence entre l'espérance de gain illustrée par les Figures 4.2 et 4.3 ne tient qu'au

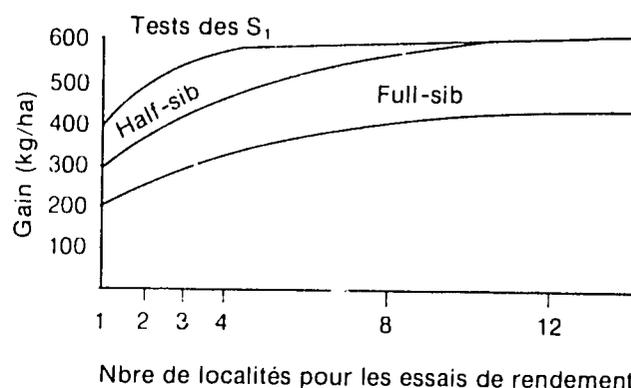


Figure 4.2: Influence du nombre de localités d'essais sur les gains de rendement avec 3 campagnes en 2 ans.

Cette figure illustre les gains de rendement annuel que l'on peut attendre du composite de maïs KCA, testé en des nombres de localités différentes, au Kenya, avec trois campagnes en deux ans (Eberhart 1970).

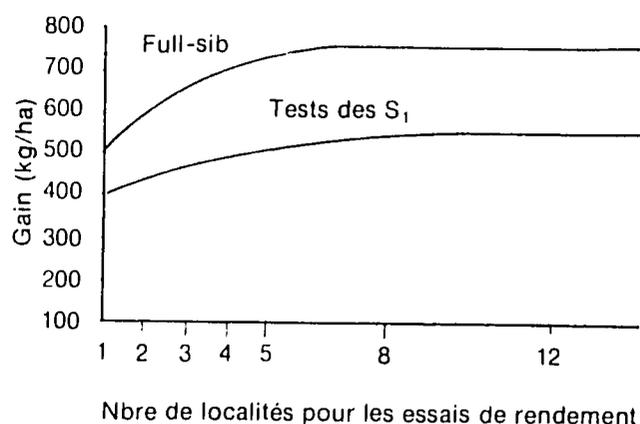


Figure 4.3: Influence du nombre de localités d'essais sur les gains de rendement avec 2 campagnes par an.

Cette figure illustre les gains de rendement annuel que l'on peut attendre du composite de maïs KCA, testé en des nombres de localités différentes, au Kenya, avec deux campagnes par an (Eberhart 1970).

nombre de générations par an : trois saisons en deux ans contre deux saisons par an. A noter aussi que l'efficacité relative des procédures de sélection full-sib, et test des S_1 , s'inverse selon cette différence entre le nombre des générations annuelles.

Sélection pour la résistance aux insectes et aux maladies

La sélection consiste à modifier les caractéristiques d'une population, au cours d'un certain nombre de générations, en exerçant sur elle certaines contraintes. Un certain nombre de procédés de sélection peuvent être envisagés en ce qui concerne la résistance aux insectes et aux maladies.

La sélection en vue de la résistance implique la possibilité de cribler, sur la base d'une routine bien établie, un grand nombre de lignées participant à un programme d'amélioration des plantes.

La rapidité d'acquisition des modifications réalisées dépend de plusieurs facteurs :

- Mode d'hérédité et techniques de sélection;
- Facilité d'identification du caractère pour lequel on sélectionne;
- Intensité de la pression de sélection qu'il est possible d'exercer;
- Facteurs de l'environnement.

Mode d'hérédité et processus de sélection

Le mode d'hérédité se réfère à la façon dont un caractère se transmet—s'il s'agit soit d'un gène unique, de quelques gènes, de gènes nombreux—et à la mesure dans laquelle la variabilité observée est due à des effets additifs ou non additifs (dominance ou épistasie). La résistance à une race de rouille du blé est l'exemple d'une hérédité par un gène unique. Chaque race nouvelle de rouille du blé nécessite en général que l'on trouve un nouveau gène de résistance; c'est-à-dire que la relation entre l'hôte et le parasite est très spécifique; il en découle qu'il existe autant de sources de résistance auxquelles on peut faire appel qu'il y a de races du pathogène. Il est en général possible de retrouver un type variétal résistant à une nouvelle race de rouille, et d'introduire un seul gène nouveau dans un génotype sans modifier ce génotype dans une grande mesure, à l'exception du nouveau facteur incorporé.

Le rétrocroisement est une méthode de transfert

d'un gène. Le parent agronomiquement satisfaisant (récurrent R) est croisé avec le parent donneur de résistance (non-récurrent, de type NR) et l'on rétrocroise plusieurs fois de suite avec le parent récurrent.

$R \times NR$
 $(R \times NR) \times R$
 $(R \times NR) R \times R$, etc.

Si le caractère considéré est récessif, la F_1 ($R \times NR$) n'est pas résistante. Il est ainsi nécessaire d'autoféconder une génération sur deux, à peu près, pour retrouver le caractère recherché. Si, par exemple la lignée R a une formule génétique SS (sensible) et que NR est "ss" (résistant), la F_1 est Ss ou sensible. Le premier rétrocroisement, entre les parents Ss et SS donne pour moitié des individus SS et pour moitié des Ss. Les plantes de la descendance, autofécondées, donnent une ségrégation de 5SS pour 2Ss et 1ss. Les rétrocroisements se poursuivent alors en croisant les plantes ss par le parent récurrent pendant plusieurs générations jusqu'à ce que l'on obtienne le parent récurrent doté de la résistance (ceci demande en général quatre à six rétrocroisements).

Le nombre des rétrocroisements nécessaires peut être réduit si les parents R et NR ont des phénotypes semblables (notamment s'ils ont un arrière-plan variétal commun). Si, par exemple, on désire incorporer une résistance à la variété A_1 , et que l'on dispose de plusieurs sources de résistances variétales (A_5 , B_2 , C_7 , D_{10} , etc.), le meilleur choix pour la variété non-récurrente est A_5 . Le croisement $A_1 \times A_5$ aura un phénotype beaucoup plus proche de ce que l'on recherche que, par exemple, le croisement $A_1 \times C_7$, de sorte que le nombre des rétrocroisements nécessaires sera sans doute plus faible.

Heureusement, on dispose de bonnes sources de résistance pour les principales maladies du sorgho. En conséquence, il est possible de trouver quelques bonnes lignées utilisables pour créer des variétés et des parents pour les croisements de bonne valeur agricole, et résistants aux maladies (voir la Génétique du sorgho).

Dans le cas d'un hybride dont les deux parents sont sensibles, il peut être nécessaire de conférer la résistance à chacun d'eux. Il n'en serait pas ainsi si la résistance était due à un caractère dominant. Il suffirait alors qu'un seul des deux parents soit homozygote pour ce caractère. Mais si le caractère est récessif, celui-ci doit être introduit dans les deux parents (ou tous les parents). En général, un

hybride de bonne valeur agronomique est le croisement de parents d'origines diverses. L'utilisation de la même source de résistance pour les deux parents réduit cette diversité et peut diminuer le rendement. Autant que possible, mieux vaut utiliser diverses sources de résistance dans un programme d'hybridation.

Il convient, pour les croisements, de disposer de caractères de résistance à hérédité simple. Cependant, comme pour la rouille du blé, cette résistance peut s'effondrer avec l'apparition d'une nouvelle race pathogène. La résistance horizontale est régie par de nombreux gènes et, quoiqu'une résistance totale puisse ne pas se manifester, il est possible qu'un bon niveau de résistance existe et se maintienne, en général plus stable et à plus long terme que la relation hôte-parasite, très spécifique, qui existe pour la rouille du blé. Du point de vue de la production agricole, la résistance horizontale a un grand intérêt, et représente un concept potentiellement valable pour le sélectionneur.

Il est intéressant de cribler les collections de types variétaux et le matériel végétal en cours de sélection pour diverses résistances, et pour étudier l'hérédité des caractères désirables des lignées prometteuses.

La diversité génétique est aussi importante dans la sélection pour la résistance aux insectes et aux maladies que pour le rendement.

Si le caractère en cause dépend de deux, trois ou quatre gènes, il est possible de faire des rétro-croisements, avec des chances raisonnables de transférer la résistance et d'obtenir un phénotype semblable à l'original, la résistance y ayant été incorporée. Il existe quelques gènes majeurs dont l'expression est amoindrie par un grand nombre de gènes mineurs ou modificateurs, d'effet contraire. Un de ces gènes majeurs, ou plus, peuvent être dominants ou partiellement dominants. Une variété dotée de ce type de résistance est plus facile à utiliser qu'une autre possédant un grand nombre de gènes à effets mineurs, d'autant plus que l'hérédité du caractère est quantitative. Si tel est le cas, il est impossible de transférer le caractère par un simple processus de rétro-croisements. Les gènes sont répartis au hasard et il est pratiquement impossible de trouver une recombinaison présentant tous les caractères désirables (le volume de la population nécessaire serait alors trop grand, et la probabilité d'identifier, au sein d'une telle population, l'individu recherché, excessivement faible). Il est cependant possible, en général, de rétro-croiser une ou deux fois; puis de sélectionner une nouvelle lignée dans les descendances en cours de disjonction. Il est

impossible de retrouver la variété recherchée, dotée de la résistance souhaitée. Le recours aux techniques de sélection des populations peut être très fructueux.

Les sélectionneurs hésitent à faire appel à des variétés agraires inadaptées, prélevées dans la collection de gènes, pour la combinaison avec des lignées élite, simplement en vue de l'acquisition d'un caractère de résistance. Il est clair que le besoin s'impose d'introduire telle ou telle résistance dans un matériel végétal de valeur, pour accroître son intérêt dans le processus d'amélioration variétale. On doit alors rechercher un certain équilibre entre la diversité génétique et l'uniformité. Le criblage de lignées élite très performantes est souvent assez infructueux, car la variabilité génétique, pour le caractère considéré, est probablement si faible que les effets de la sélection restent fort limités. D'autre part, le criblage d'une F_2 peut mettre en jeu un tel volume de matériel végétal très diversifié que le travail prend une importance démesurée, et les décisions prises sur la base de l'expression d'une plante unique peuvent se révéler peu fiables. La nature de l'hérédité d'un caractère, peut, dans une certaine mesure fournir des indications sur la façon de le manipuler. En moyenne, il vaut en général mieux commencer à évaluer un caractère de résistance à la F_3 ou à la F_4 . Cependant, il y a lieu d'écartier, dès la F_2 , les plantes dont la sensibilité est évidente.

Trois types d'approche peuvent être adoptés, dans un processus de sélection généalogique, pour incorporer une résistance à des variétés de bonne valeur agronomique. Si l'hérédité du caractère est très forte, par exemple pour la rouille des feuilles, il est possible de le retrouver tout en sélectionnant pour l'intérêt agronomique. Si elle est un peu moins forte, la technique consiste à cultiver le matériel considéré, à la fois en parcelles de sélection, pour l'évaluation de la valeur agronomique, et en parcelles de criblage pour l'évaluation de la résistance. Il est préférable que les chercheurs des deux disciplines travaillent en liaison sur les deux types de parcelles. L'évaluation porte, en premier lieu dans les parcelles de criblage, sur l'identification des familles résistantes. On recherche ensuite, au sein de ces familles résistantes, des plantes de bonne valeur agronomique. Ces lignées soeurs sont évaluées, au cours de la campagne suivante, dans les deux types de parcelles d'essai. Cette technique suppose l'identification d'un niveau de résistance correct chez un nombre raisonnable de familles. Si tel n'était pas le cas, il y aurait lieu d'opérer selon le processus décrit ci-dessous :

Lorsqu'il est impossible d'identifier des niveaux de résistance suffisants, ou si les gains obtenus plafonnent à un niveau inférieur à celui espéré, il devient nécessaire de croiser entre eux des pedigrees différents afin d'accroître la variabilité génétique du matériel de travail. Si ceci reste inopérant, il faut alors introduire de nouveaux génotypes dans le programme. Ce processus implique le recours à une sélection alternante. Celle-ci est d'autant plus recommandable que les héritabilités sont assez faibles, mais que l'additivité des variances génétiques est à un niveau raisonnable. Il convient de faire deux lots du matériel végétal ainsi créé. L'un est criblé en fonction de sa résistance, et l'autre évalué pour sa valeur agronomique dans les meilleures conditions ("no stress"). On sélectionne, dans les deux cas, les plantes les meilleures (sélection généalogique). Les plantes sélectionnées dans la parcelle de criblage pour la résistance sont cultivées en panicules-lignes l'année suivante et l'on évalue leur valeur agronomique dans les meilleures conditions, les lignées ainsi sélectionnées passant, l'année d'après, en parcelle de criblage pour la résistance; de cette façon, le même matériel végétal est multiplié et sélectionné, d'une année à l'autre, d'abord en parcelle de criblage, puis en conditions optimum, puis de nouveau en parcelle de criblage et ainsi de suite. On ne doit pas porter de jugements dans une parcelle et faire des choix dans l'autre, en imaginant que les gènes de résistance figurent dans le lot cultivé dans la parcelle de la valeur agronomique. Dans ce cas, les individus montrant une certaine résistance sont multipliés en conditions optimum et les plantes retenues à la suite de cette multiplication repassent en parcelle de criblage. On a ainsi une meilleure certitude de conserver les gènes de résistance. Il peut être préférable de réaliser des croisements entre les lignées retenues, puis de sélectionner dans les descendances de ces croisements, afin d'accroître la fréquence des gènes de résistance. Il paraît vraisemblable que la pression de sélection doit s'exercer dans un premier temps sur la résistance, la sélection pour la valeur agronomique ne venant qu'en deuxième lieu.

De nombreuses techniques de conduite des populations peuvent avoir leur intérêt. Toutes mettent en jeu certaines formes de sélection récurrente. La population peut se composer de lignées de bonne valeur agronomique, en mélange avec des lignées constituant de bonnes sources de résistance. Il est important que ces composantes soient choisies avec soin en fonction de ces deux types de caractéristiques. On laissera les recombinaisons se faire

au hasard, sous une faible pression de sélection, pendant plusieurs générations, avant de sélectionner pour l'identification de lignées nouvelles. Il peut même s'avérer souhaitable de diffuser une population comprenant différentes variétés (si on dispose seulement de types moins sensibles pour augmenter son degré de résistance) avant la moindre tentative de création de types ayant une supériorité agronomique. Les additions de lignées supplémentaires à un composite, surtout si elles comportent aussi bien des lignées de bonne valeur agronomique que des sources de résistance, aboutissent, selon toute probabilité, à un affaiblissement de l'expression de la résistance. La fréquence génique dans une population issue d'un croisement est la moyenne de la fréquence des gènes chez les parents. Ainsi, si la fréquence des gènes de résistance est 0,7 pour une lignée A, et 0,4 pour une lignée B, celle de la population résultant du croisement de A par B est de 0,55. Si la fréquence génique pour la lignée B est 0,04, elle est de 0,370 dans le croisement A \times B (ceci est une limite inférieure à partir de laquelle il est possible de commencer une sélection).

Certaines de ces techniques de manipulation des populations ont un intérêt particulier pour les plantes allogames, ou celles dont le taux d'allogamie atteint un certain niveau. Celui-ci est suffisant, chez le sorgho, pour le maintien de populations en pollinisation libre. Cependant, les recombinaisons sont favorisées par des pollinisations artificielles à la main (ou mieux, par l'introduction de mâles-stériles dans la population). La population peut se composer d'un quart de mâles-stériles, et la récolte ne porter que sur les plantes mâles-stériles. Toutes les graines récoltées sont alors hybrides.

La stérilité mâle cytoplasmique est mise à contribution pour la production d'hybrides commerciaux. La pratique courante, et recommandable, est de ne faire appel qu'à une stérilité mâle d'origine génétique (ms_3 et/ou ms_7) pour les composites.

S'il y a lieu de mettre en oeuvre dans un programme de croisements un caractère polygénique, il convient de conserver la diversité génétique des parents. Il peut être préférable de constituer deux populations non apparentées plutôt qu'une seule. Dans ce cas, la sélection récurrente réciproque peut s'avérer très fructueuse. Il faut penser, lors de l'introduction de la stérilité mâle dans des populations non apparentées, à conserver une certaine diversité dans les lignées donneuses de cette stérilité mâle.

La sélection récurrente comporte une phase d'évaluation et une phase de recombinaison. Au cours de la première, on évalue le rendement, en

essais, et, en parcelles de criblage séparées, les résistances aux insectes et aux maladies à prendre en considération. Seules les meilleures sélections issues de ces différentes épreuves participent à la phase de recombinaison (voir le chapitre relatif aux Composites). La sélection des populations présente un intérêt pour l'incorporation simultanée de différents caractères dans un matériel végétal déjà satisfaisant du point de vue agronomique.

S'il y a lieu d'incorporer une résistance à une population ayant déjà atteint, d'un point de vue agronomique, le statut "élite", il faut croiser des individus sélectionnés dans cette population avec un ou des donneurs de cette résistance. Les descendances de ces croisements sont testées en F_2 , F_3 et (si nécessaire) en F_4 , à la fois sur des critères agronomiques et en fonction de leur résistance. Elles ne seront incorporées que si leur valeur agronomique est au moins égale à celle de la population d'origine. Ainsi ne réduit-on pas la fréquence des gènes contribuant à cette valeur agronomique.

Le programme maïs du Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) utilise la technique "side-car". Un bulk de pollen de la population féconde la (ou les) plante mère donneuse de résistance. On crible ensuite les descendances en fonction de leur valeur agronomique et de leur résistance. L'amélioration de la population d'origine est poursuivie simultanément. Lorsque les descendances ont fourni des individus ayant à la fois une bonne résistance et une bonne valeur agronomique, on rétrocroise ces individus par un bulk du pollen de la population améliorée, et l'on répète ce cycle. Cette population non-récurrente constitue un side-car de la population mère. De cette façon, la population est rétrocroisée sur le donneur; il n'y a aucune chance de réduire la fréquence des gènes correspondant aux caractères favorables dans la population mère (en fait, ceux-ci se trouvent améliorés au cours du processus de rétrocroisements).

Facilité d'identification des caractères

La facilité avec laquelle un caractère peut être identifié joue un rôle important en matière de sélection. L'expression d'un caractère est influencée à la fois par l'ensemble du génotype et par le milieu. Un gène majeur de résistance peut avoir une expression bonne pour une variété A et médiocre pour une variété B, celle-ci pouvant être porteuse d'un complexe de modificateurs diminuant son effet sur la résistance. L'influence de l'arrière-plan génétique

sur l'expression d'un caractère joue aussi un rôle important, en génétique, pour l'identification de variétés pour lesquelles cette expression détermine la fréquence des individus dans les différents groupes d'une population en disjonction. Le choix des parents pour un programme de rétrocroisements n'est pas indifférent, car l'expression de la résistance peut varier de l'un à l'autre. Il vaut la peine d'identifier les meilleurs donneurs auxquels faire appel pour l'amélioration d'une lignée particulière de valeur agronomique.

La sélection pour la résistance à la pourriture charbonneuse des tiges (*Macrophomina phaseoli*) n'est pas simple, car la sensibilité à cette maladie augmente fréquemment en même temps que les rendements. Il semble que l'accroissement de la translocation des métabolites vers le grain rende la tige plus sensible à la contamination (d'autres contraintes, comme la sécheresse, favorisent aussi cette sensibilité). Il existe une certaine variabilité, mais le point jusqu'où l'on pourra aller dans la sélection, à la fois pour le rendement et pour la résistance à cette pourriture charbonneuse, n'apparaît pas clairement.

La mouche des pousses *Atherigona soccata* pose un problème qui met bien en évidence la complexité de la sélection. Elle représente une menace sérieuse pour le sorgho en Inde (les larves coupent et tuent les bourgeons terminaux des plantules), et l'on ne connaît aucune source de résistance valable; la plupart des variétés réputées résistantes sont parfois gravement ravagées. Il est certes important d'augmenter la fréquence des gènes de résistance chez les variétés recherchées, et d'identifier les modes d'hérédité de différentes sources de résistance, mais il est aussi souhaitable d'augmenter la résistance des variétés donneuses de cette résistance.

Il faut trouver une forme de compromis entre la valeur agronomique et le degré de résistance. Les efforts doivent porter à la fois sur accroissement de la fréquence des gènes de résistance chez les types de bonne valeur agronomique, et chez les donneurs de résistance. Il serait possible, le moment venu, de créer de nouveaux composites mettant en oeuvre de meilleurs donneurs. (Certains sélectionneurs tentent de sélectionner de nouvelles lignées résistantes à *Atherigona* par des croisements individuels; cependant, la F_1 et les générations suivantes se montrent aussi sensibles que le parent sensible). Une certaine proportion de la transmission de la résistance, chez le sorgho, est due à la variance génétique additive, et quelques progrès ont pu être réalisés grâce à des croisements et à des sélections de type généalogique.

Il serait également possible d'identifier différentes composantes ou mécanismes de résistance et de renforcer l'efficacité de chacun d'eux, séparément. Ceux-ci pourraient alors être réassemblés. La résistance à *Atherigona* présente trois aspects : antibiose, capacité de récupération (la tige principale étant détruite, les talles régénèrent la culture), et non préférence pour la ponte. La teneur élevée en silice des cellules des couches externes de la tige et en lignine contribue, pense-t-on, à l'antibiose. La micropilosité (trichomes) de la face inférieure des feuilles joue un rôle dans la non préférence pour la ponte. L'existence des trichomes est sous la dépendance d'un seul gène récessif. L'identification des différents facteurs qui apportent leur contribution à la résistance (composants d'un caractère à héritabilité quantitative) et la détermination de leurs modes de transmission pourraient être des éléments importants d'un programme de sélection pour la résistance à cet insecte.

Intensité de la sélection

L'intensité de la sélection joue un rôle important. La contamination naturelle est rarement aussi forte qu'une épidémie ou une épiphytie artificielle. Il est particulièrement utile de pouvoir contrôler la gravité de ces dernières. L'expérimentation en vue de la définition de techniques de criblage pour la résistance aux insectes et aux maladies les plus importants est d'un intérêt primordial. Il existe déjà de telles techniques pour la plupart des insectes parasites du sorgho, et de ses maladies.

Toute méthode apte à limiter la gravité d'une épidémie ou d'une épiphytie aurait un grand intérêt en matière de sélection. En effet, si l'une ou l'autre sont extrêmes, toutes les plantes peuvent être affectées, ce qui réduit à rien les possibilités de sélection. Il importe de limiter l'attaque à un niveau permettant de sélectionner utilement.

Facteurs dépendant du milieu

Le milieu influence l'expression de nombreux caractères. Certaines maladies sont plus graves si le temps est frais et humide plutôt que chaud et/ou sec. Certaines maladies et attaques d'insectes sont plus graves lors d'une saison que d'une autre. Tenter de mettre en évidence les effets de l'attaque des insectes, ou d'une maladie dans un climat ne les favorisant pas, risque d'en donner des manifestations si faibles que la sélection ne peut jouer.

La sélection ne doit se faire qu'en certaines saisons, et/ou en certaines localités. Il est possible de la déplacer d'une région à l'autre au cours de l'année. Ainsi la sélection pour la résistance à *Atherigona* peut être conduite au Nord de l'Inde (28°N environ) en été, avec des semis en mars, et à Hyderabad (18°N) plus tard en saison des pluies, avec des semis en fin juillet et août. On peut aussi pulvériser de l'eau sur les plantes pour les rendre plus sensibles à la moisissure des grains, (*Fusarium*, *Curvularia*, *Phoma* spp.) par exemple. La mise en oeuvre de variétés contaminatrices rend des services pour le criblage du mil (*Pennisetum*) pour la résistance au mildiou (*Sclerospora*) et celle du sorgho à *Atherigona*.

L'ICRISAT a identifié, pour différentes localités en Inde, différentes dates de semis permettant de cribler pour la résistance à différentes maladies, insectes, adventices ou contraintes de milieu. La situation se présente ainsi :

Sécheresse	Centre ICRISAT (octobre à avril) Anantapur (mi-mai)
Densité à la levée	Centre ICRISAT et Hisar (mi avril-fin avril)
Mouche des pousses	Centre ICRISAT (nov-déc) Hisar (mi-mars)
Foreurs des tiges	Centre ICRISAT (novembre) Hisar (juillet)
Cécidomyie	Centre ICRISAT (fin juillet) Dharwar (juillet)
Moisissures des grains	Centre ICRISAT (début juin) Bhavanisagar (début juin)
Mildiou	Dharwar (fin juin, début juillet)
Pourriture charbonneuse	Centre ICRISAT (septembre) Dharwar (septembre)
Rouille	Dharwar (début juillet)
Anthracnose	Pantnagar (juillet)
Bandes de suie	Udaipur (juillet)
<i>Striga</i>	Centre ICRISAT (mi-juin à fin-juin) Akola (début juillet) Bijapur (octobre)

En Inde, les localités et les dates de semis convenant à l'évaluation de certains caractères critiques ont été déterminés. Les programmes nationaux de chaque pays devraient procéder de même.

La sélection pour la résistance aux insectes et aux maladies implique la compréhension du mécanisme génétique en cause, et sa manipulation pour le renforcer et/ou pour l'incorporer à des variétés ayant une bonne valeur agronomique. Le temps nécessaire pour atteindre ce but dépend en partie de la maîtrise du milieu, qui rend la sélection efficace. Il est extrêmement important que les spécialistes des différentes disciplines travaillent en liaison étroite, et sur les mêmes variétés.

Techniques de criblage

Un étude réalisée à l'ICRISAT a mis en évidence les principaux facteurs qui limitent les rendements. D'autres études ont défini les techniques de criblage permettant l'évaluation de routine des lignées participant aux programmes d'amélioration. Elles sont beaucoup plus simples à mettre au point pour certains caractères que pour d'autres. Les techniques propres à cribler en fonction des différents facteurs limitants du rendement sont de caractère très pointu et demandent une connaissance approfondie de la biologie et de l'écologie de l'organisme nuisible. Certaines des méthodes définies par l'ICRISAT sont présentées ci-dessous.

Résistance aux insectes

La Figure 4.4 présente un schéma général de sélection pour la résistance aux insectes. Celui-ci se base largement sur la sélection généalogique pour renforcer la résistance des donneurs, pour améliorer la valeur agronomique des parents, et pour incorporer la résistance aux lignées élites; il comprend aussi un volet de sélection de populations, en vue de l'accumulation de gènes de résistance, à partir des nombreuses sources disponibles. Ce schéma général peut présenter des variantes. Les méthodes de criblage pour la résistance à plusieurs insectes sont examinées ci-dessous :

Mouche des pousses

Cette mouche (*Atherigona soccata*) pond ses oeufs, isolés, sur la face inférieure des feuilles des plantules de sorgho âgées de 5 à 20 jours. Les larves dès leur éclosion, se portent vers le point de croissance qu'elles tuent, amenant ainsi le dessèchement de la feuille centrale (appelé *cœur mort*). Les populations d'*Atherigona* peuvent être recensées grâce à

des pièges appâtés à la farine de poisson. Dans le sud de l'Inde, leur volume augmente dès juillet, avec des pics en août et en décembre. Au nord de l'Inde le pic se situe en mars. Le criblage pour la résistance a lieu au champ. On sème en intercalaires (quatre par quatre) des rangs d'une variété très sensible, dès que la population d'*Atherigona* commence à augmenter. On répand en général de la farine de poisson sur le sol entre ces séries. Environ trois semaines plus tard (temps correspondant au cycle de vie d'*Atherigona*, on sème le matériel végétal à tester, en général 24 rangs entre chacun des rangs infectants. Les mouches en provenance de ces rangs attaquent le matériel végétal en essai, qui se trouve au stade le plus sensible. Il est conseillé de placer une étiquette en plastique à côté de chaque plantule porteuse d'oeufs mais ne présentant pas de coeurs morts, de façon à permettre sa sélection lors de la récolte. Certaines variétés peuvent émettre des tiges après la mort de la tige maîtresse et survivre jusqu'à la récolte. C'est la *capacité de récupération*. Les variétés dont on a identifié la résistance sont alors testées dans des cages où les mouches femelles n'ont aucun choix pour déposer leurs oeufs (ce qui évite la préférence de ponte). Ce test donne une information sur l'antibiose en tant que mécanisme de résistance. Il est possible d'identifier plusieurs mécanismes de résistance et l'on peut sélectionner des variétés en fonction de l'antibiose, de la non préférence pour la ponte, ou pour la capacité de récupération. On a démontré qu'un gène récessif simple "glossy" ("vernissé") (feuilles de couleur vert pâle, dont la surface apparaît luisante au soleil) contribue à la résistance à *Atherigona*. La vigueur de la levée a également son importance. Tout facteur ralentissant la croissance des plantules accroît généralement les dégâts causés par *Atherigona*.

Foreur de la tige

Les foreurs (*Chilo partellus*) attaquent la culture à partir du stade plantule (20 jours après la levée) et jusqu'à la maturité. Les dégâts peuvent consister en feuilles endommagées, coeurs morts, tiges évidées et pédoncules cassés (généralement accompagnée d'une réduction des dimensions des grains).

La résistance aux foreurs est évaluée au Centre ICRISAT sur des semis de mi-juin, d'octobre ou de janvier, soumis à des niveaux uniformes d'infestation. Dans tous les cas on fait appel à des infestations artificielles car la population naturelle de parasites n'est pas assez abondante.

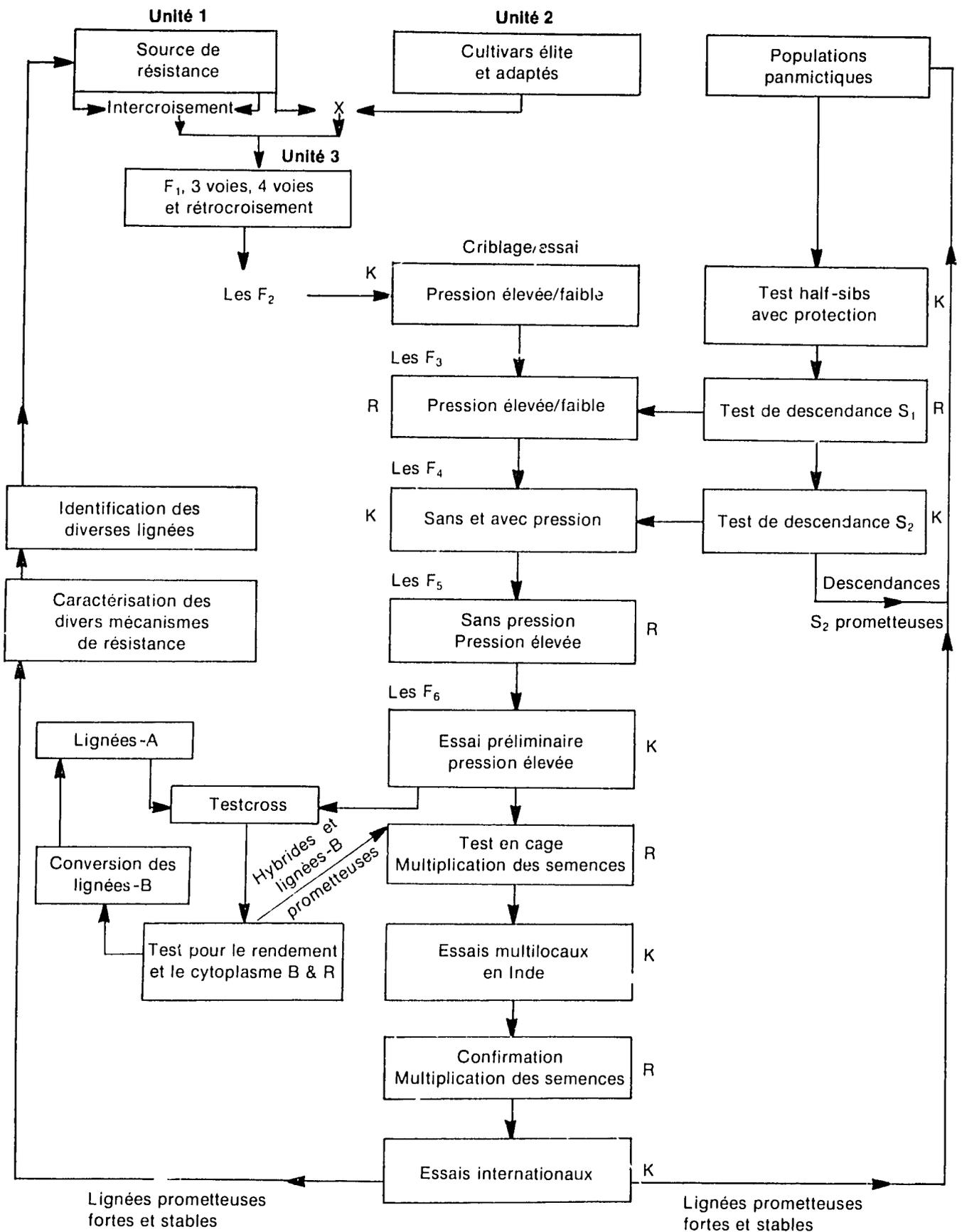


Figure 4.4: Schéma de la sélection pour la résistance aux ennemis des cultures chez le sorgho.

L'infestation débute lorsque les plantes sont âgées de 15 à 20 jours (le meilleur moment doit être déterminé en fonction de la localité et de la saison considérées). Le criblage est également réalisé à Hisar, dans le nord de l'Inde où les semis du mois de juillet correspondent avec une abondance de la population naturelle de *Chilo*.

L'infestation artificielle est réalisée à partir du premier stade des larves, élevées en laboratoire. Celles-ci, mélangées à un excipient sont déposées dans les verticilles des plantes testées, grâce à un distributeur mis au point au CIMMYT. (Fig. 4.5).

On note les plantes testées pour les différents types de dommages dont elles sont l'objet : feuilles dévorées, coeurs morts, tiges évidées, lésions des pédoncules. Les pourcentages de coeurs morts au stade de la plantule et de pédoncules endommagés à la maturité se sont révélés comme ayant la liaison la plus forte avec la réduction du rendement en grain.

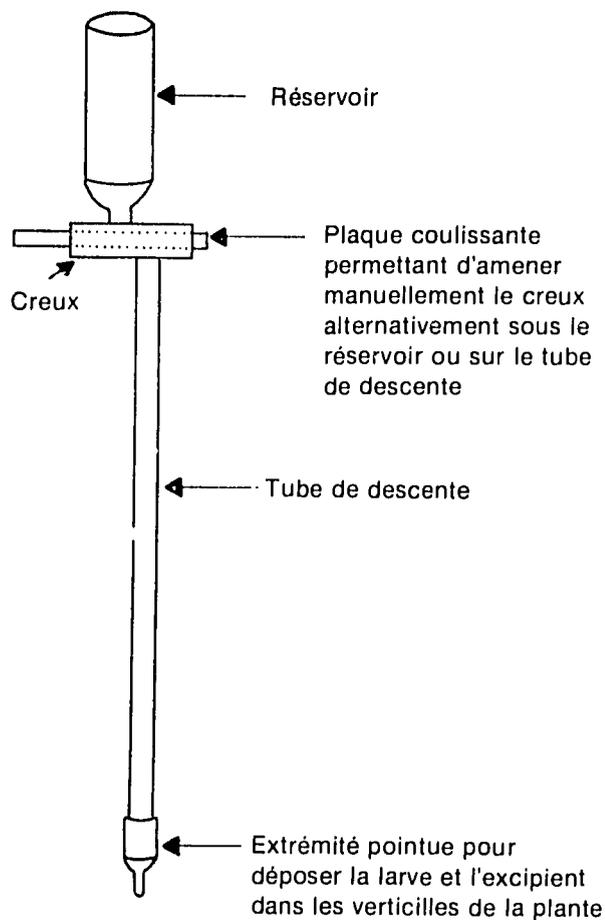


Figure 4.5: Distributeur de larves.

Cécidomyie

La cécidomyie (*Contarinia sorghicola*) est une petite mouche (environ 2 mm) de couleur rouge-orange vif, qui pond ses oeufs dans les fleurons lors de la floraison. Les larves se nourrissent du grain en cours de croissance et le détruisent.

Il est difficile de constituer dans une parcelle de criblage une population constante et homogène de cécidomyies. Il n'y en a pas tous les ans, et l'abondance de la population peut varier durant les laps de temps sur lequel s'étend la floraison du matériel végétal soumis au criblage. Il faut donc déterminer des localités et des dates de semis où l'apparition des cécidomyies soit constante et régulière.

La conduite du criblage en plusieurs localités augmente les chances que l'une d'entre elles, au moins soit l'objet d'une bonne infestation.

On n'a pas réussi à élever *Contarinia* en milieu artificiel, mais ces mouches en diapause peuvent être conservées vivantes d'une saison à l'autre dans des panicules infestées. Il est possible d'accroître le volume de la population au champ en éparpillant les panicules infestées, conservées depuis la saison précédente, entre les rangs de variétés infestantes et les rangs soumis au criblage. L'humidité doit être suffisante (qu'elle vienne de la pluie ou d'irrigations par aspersion) pour que ces populations soient aussi abondantes que possible.

En Inde, les parcelles de criblage de l'ICRISAT pour la résistance à la cécidomyie sont semées en fin juillet/ début août au Centre ICRISAT (Patancheru) et à Dharwar. On sème d'abord des variétés infestantes de précocités diverses et, environ deux semaines après (la cécidomyie a un cycle de onze jours) le matériel végétal à cribler. Il est bon de semer un rang d'une variété sensible tous les 15 à 20 rangs de matériel à cribler, afin de juger de l'uniformité de l'attaque; cependant, la population d'insectes a tendance à être plus abondante au voisinage des rangs témoins, et à attaquer davantage les rangs les plus proches de ceux-ci que ceux qui en sont plus éloignés. Le nombre des rangs témoins doit être juste suffisant pour permettre d'apprécier correctement l'uniformité de l'infestation. Il est également bon de semer à deux dates, à quinze jours d'intervalle, pour augmenter les chances que les plantes fleurissant à des dates différentes subissent toutes l'attaque des cécidomyies.

La résistance des variétés sélectionnées dans une telle parcelle de criblage se vérifie grâce à la technique de la panicule encagée (Fig. 4.6). On confectonne un cadre en fil de fer d'environ 16 cm de diamètre et 25 cm de long.

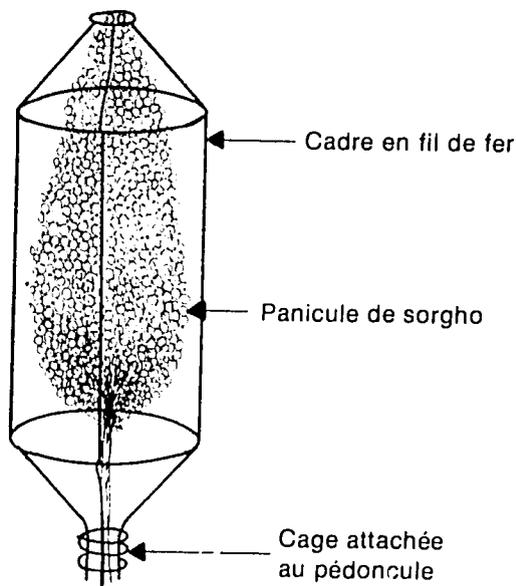


Figure 4.6: Cage pour panicule pour le criblage en vue de la résistance à la cécidomyie.

Celui-ci est recouvert d'un tulle bleu, en coton fin (les cécidomyies, non attirées par le bleu, passent ainsi davantage de temps sur la panicule). Les mouches sont capturées le matin. On peut utiliser un aspirateur à vide, la dépression étant fournie par l'instrument. On introduit dans chaque cage un total de 80 mouches, à raison de 40 par jour, deux jours de suite. (Les cécidomyies ne vivent qu'un jour). Ce test doit également porter sur des témoins sensibles. Le pourcentage de venue à grains indique le niveau de résistance. On a ainsi identifié des variétés dont le niveau de résistance est satisfaisant.

En Inde, les punaises de la panicule (*Calocoris angustatus*) perturbent parfois les parcelles de criblage pour la résistance à la cécidomyie, celles-ci sucent les grains en formation, mais tuent également les larves. Une pulvérisation de carbaryl juste après l'anthèse réduit considérablement la population de punaises mais affecte peu les oeufs et les larves de cécidomyies à l'intérieur des épillets.

Maladies

Mildiou

La localité où est réalisé le criblage a son importance. A l'ICRISAT, il s'est avéré beaucoup plus avantageux de cribler à Dharwar qu'au Centre, près de Hyderabad. Le climat de Dharwar est un peu plus

frais avec de petites pluies au cours de la période de végétation, plusieurs fois par jour.

Une technique comportant des rangs infectants, et tirant parti des conidies du pathogène SDM ("sorghum downy mildew"), décrite dans le rapport annuel de l'ICRISAT pour 1981 a permis de cribler avec succès, à Dharwar, plus de 4000 lignées de sorgho en une saison des pluies pour la résistance au SDM.

Voici les phases successives de cette technique et les méthodes mises en oeuvre :

1. Semer en rangs infectants une lignée de sorgho très sensible au SDM (DMS-652 ou IS-643) sur laquelle le pathogène produit des conidies en abondance.
2. Contaminer les rangs infectants en incubant des semences, germées depuis 24 heures, entre des morceaux de feuilles systématiquement contaminées par SDM, ceci à une température de 20°C, dans une pièce obscure et humide, pendant 18 à 20 heures avant de les semer, afin de s'assurer que tous les rangs infectants soient contaminés.
3. Semer le matériel végétal soumis au test dès que les plantules des rangs infectants sont bien établies et que l'on y observe la sporulation du SDM, 20 à 25 jours après la levée.
4. Semer quatre rangs du matériel à tester entre deux rangs infectants.
5. Evaluer le matériel criblé, au stade plantules, à la floraison, et à la maturité en considérant qu'une infection limitée à 5% des plantes équivaut à la résistance.

Le mildiou s'est bien développé, et la production de conidies a été abondante sur les rangs infectants; les rangs témoins ont été atteints à 100% par la maladie systémique ce qui indique une pression de sélection satisfaisante pour l'évaluation du matériel végétal soumis au criblage.

Sur 2804 génotypes et 1126 lignées en cours de sélection criblés, 151 et 334, respectivement, se sont montrés résistants au SDM; 44 étaient totalement indemnes.

La résistance des plantes criblées au champ peut être confirmée par germination des semences, pliées dans une feuille adjacente à l'une des taches blanches et duveteuses caractéristiques du mildiou. Cette feuille repliée est mise à incuber à une température de 18 à 20°C avec une humidité relative de 90 à 100%. Le sorgho est extrêmement sensible à cette maladie à l'état de plantules, et cette technique de la feuille pliée est un test de résistance particulièrement rigoureux.

Moisissures des grains

Les deux champignons responsables des moisissures des grains qui causent le plus de préoccupation à l'ICRISAT sont certaines espèces de *Curvularia* et de *Fusarium*. Une priorité moins élevée est accordée à la résistance à *Phoma sorghina*. La parcelle de criblage est semée à une période telle que l'on puisse s'attendre à ce que le remplissage et la maturation des grains aient lieu par temps pluvieux et très humide. Il est avantageux de disposer de l'irrigation par aspersion qui permet de mouiller la parcelle, les jours sans pluie, par des arrosages répétés totalisant une heure environ. Au début, au stade floraison à 50%, on pulvérise sur les panicules un mélange de spores de *Curvularia* et de *Fusarium*. Ces panicules sont ensuite ensachées avec des sachets de papier ordinairement utilisés pour la pollinisation. Par la suite, l'aspersion ou la brumisation assurerait une pression de sélection suffisante, sans inoculation ni ensachage des panicules. Il faut pourtant toujours y avoir recours pour les études spéciales sur le sujet.

L'expression des moisissures est fortement liée avec la longueur du cycle, il est donc essentiel d'enregistrer les cycles semis-floraison à 50% de toutes les lignées figurant dans la parcelle de criblage. Il convient, de même, dans la mesure du possible de grouper ensemble les lignées de même cycle. La notation débute 55 jours environ après la floraison. On note de 1 à 5, la note 1 correspondant à l'absence de moisissures, 2 à des pourcentages de 1 à 10% de grains moisis par panicule, 3 à des pourcentages de 11 à 25%, 4 à des pourcentages de 26 à 50% et 5 à plus de 50% de grains très attaqués. Lorsque l'on utilise une notation de 0 à 9, les notes impaires correspondent pratiquement aux notes 1, 2, 3, 4 et 5. On a récemment identifié dans la collection mondiale un certain nombre d'accessions pratiquement indemnes de moisissures du grain et ne souffrant pas de l'exposition au mauvais temps. Bien qu'elles aient toutes des grains colorés, elles n'ont pas toutes un testa ou une forte teneur en tanin. L'ICRISAT peut fournir des semences de ces variétés.

Rouille et anthracnose

Les champignons responsables de la rouille et de l'anthracnose sont *Puccinia purpurea* Cooke et *Colletotrichum graminicola* (Cesati) Wilson, respectivement.

La rouille est favorisée par un milieu frais (18 à 25°C) et humide alors que l'anthracnose se mani-

feste davantage dans les régions chaudes (25 à 30°C) et humides, à forte pluviosité. La méthodologie en usage à l'ICRISAT pour l'évaluation des lignées est basée sur un criblage mettant en oeuvre des rangs infestants, en des localités considérées comme "points chauds", ou à risque élevé, pour ces maladies (Dharwar au sud de l'Inde pour la rouille et Pantnagar au nord pour l'anthracnose), où les conditions de milieu et l'abondance des sources d'inoculum favorisent des attaques sévères sur les lignées sensibles. (La parcelle de criblage doit être semée en temps voulu pour que les stades sensibles de la culture—à la floraison et juste après—coïncident avec la période où l'écologie favorise le développement des pathogènes).

La technique des rangs infectants comporte le semis des rangs soumis au criblage (cinq pour l'anthracnose et sept pour la rouille) entre deux rangs infectants semés en lignées de sorgho très sensibles, au moins deux semaines plus tôt. Ces dernières sont inoculées en plaçant, dans leur bouquet foliaire terminal, des débris de plantes infectées, ceci lorsqu'elles ont atteint l'âge de 30 à 40 jours. Le rang du milieu des lignées criblées (le troisième pour l'anthracnose et le quatrième pour la rouille) est ensemencé de la même variété que les rangs infectants et sert de témoin et d'indicateur de la pression de sélection. On évalue la sévérité de l'attaque, lorsque les grains arrivent au stade pâteux, par le pourcentage de surface foliaire endommagée, mesuré sur les quatre dernières feuilles. La notation utilisée va de 1 à 5, 1 correspondant à l'absence de dommage, 2, à 1 à 5% de surface foliaire endommagée, 3, à 6 à 20% de surface foliaire endommagée, 4, à 20 à 40% de surface foliaire endommagée et 5, à une attaque grave endommageant plus de 40% de la surface foliaire. On a identifié à l'ICRISAT de nombreuses lignées de sorgho à haut rendement et résistantes à l'anthracnose, à la rouille ou aux deux.

Striga

Le *Striga* est un parasite végétal qui attaque le sorgho dans la plus grande partie de l'Afrique et dans le sous-continent indien. C'est également un problème dans une région limitée de la Carolina du Nord, aux Etats-Unis.

Le criblage pour la résistance au *Striga* est difficile. Le parasite peut ne pas être présent chaque année et sa distribution sur la parcelle n'est jamais uniforme même si l'on tente une infestation artificielle pour la réaliser.

Une parcelle de criblage envahie de *Striga* est semée sur terrain bien drainé et relativement peu fertile. Une forte fumure azotée n'est pas souhaitable, mais les ressources minérales du terrain doivent cependant permettre une bonne croissance du sorgho. Le labour profond n'est pas à envisager pour la préparation du lit de semis. Il vaut mieux des façons légères, ne remuant le sol qu'en surface (5 cm environ). Les façons mécaniques doivent être réalisées tôt, de façon à ne pas gêner les plants de *Striga* qui lèvent environ 30 jours après le sorgho.

Les parcelles de criblage pour la résistance au *Striga* seront avantageusement réparties en diverses localités dans un même pays pour s'assurer, chaque année d'une bonne expression du parasite dans quelques-unes d'entre elles au moins.

Une méthode d'essais en trois étapes a été définie pour évaluer la résistance des variétés et des lignées. Chacune d'elles comporte la multiplication du matériel végétal soumis au test, en présence d'un témoin sensible. La comparaison se fait toujours avec le rang du témoin sensible le plus rapproché.

L'évaluation du matériel végétal soumis au test se poursuit au cours de ces trois étapes et s'achève avec l'identification des types les plus résistants. La première étape consiste en une collection testée, sans répétitions, d'un nombre important de lignées ou de variétés, chacune comportant deux rangs. Le témoin sensible est répété tous les quatre rangs. Les variétés ou lignées sélectionnées lors de cette étape

sont mises à l'épreuve, en plusieurs localités, en parcelles de trois rangs, répétées au moins trois fois. Les témoins sont disposés systématiquement de façon à ce que chacune de ces parcelles soit adjacentes à une parcelle témoin (Fig. 4.7). Toutes les comparaisons, au cours de cette deuxième étape, se limitent à la petite surface contenant huit objets et la parcelle témoin centrale. Lors de la troisième étape, les sélections issues de la deuxième sont testées en parcelles de cinq rangs, disposées de façon à ce que chacune d'elles touche, par ses quatre côtés à des parcelles du témoin sensible, ce qui donne au champ l'aspect d'un damier (d'où le nom de dispositif en *damier*). Ce dispositif permet d'estimer le rendement en grains des variétés et lignées soumises à l'essai et, dans le même temps, d'enregistrer le nombre des plants de *Striga* présents sur chacune des parcelles et sur les parcelles témoins adjacentes, ce qui donne une bonne idée de la résistance au matériel végétal testé. Il est indispensable de compter les plants de *Striga* sur une surface déterminée de toutes les parcelles à plusieurs reprises au cours de la campagne (car des vagues d'invasions successives peuvent apparaître et disparaître).

Un procédé d'analyse statistique de ces données a été défini à l'ICRISAT. La mise en oeuvre de cette procédure d'essais en trois étapes a permis la création de lignées présentant un niveau élevé de résistance au champ.

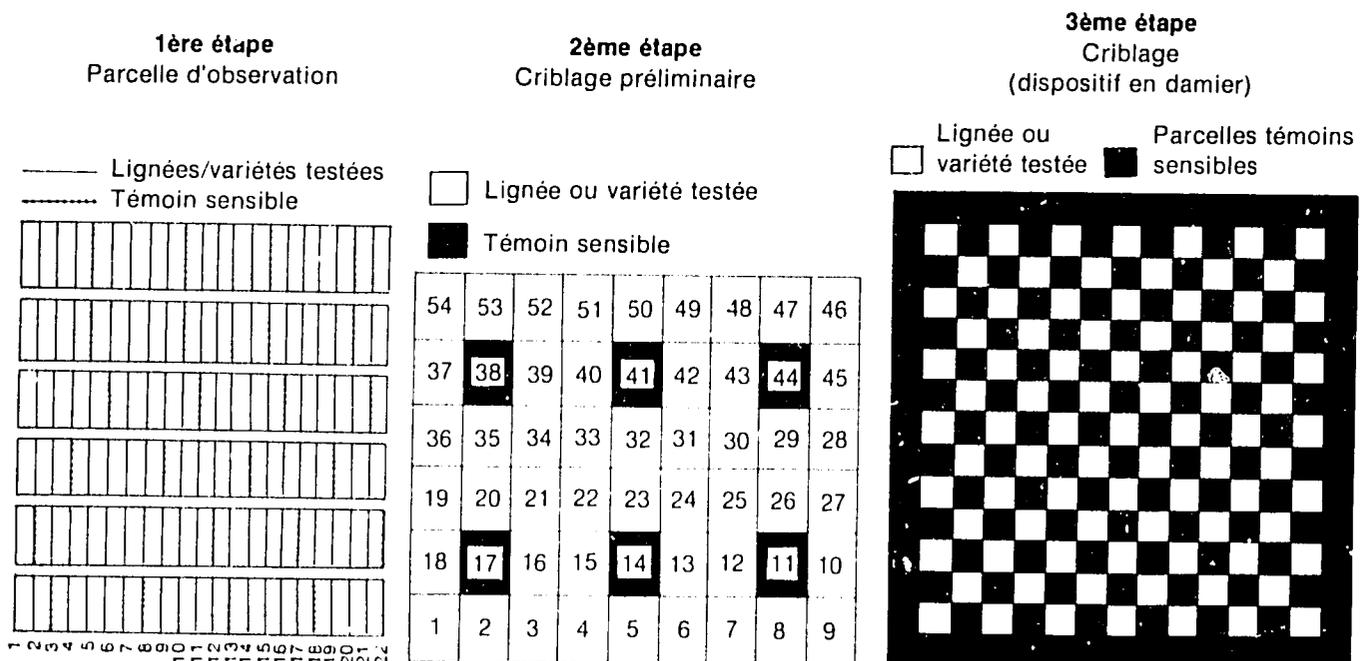


Figure 4.7: Méthode de criblage pour la résistance du sorgho à *Striga* en 3 étapes.

Etablissement de la culture

Cette notion concerne la germination des graines, la levée c'est-à-dire l'émergence de la plantule à travers la surface du sol, et le début de la croissance des plantules. Des techniques ont été définies pour évaluer la levée dans des sols présentant une croûte en surface, ou dont la surface est très chaude, pour mesurer la résistance des plantules à la sécheresse, et pour noter quantitativement la vigueur de la levée.

Les sols sont différents les uns des autres et les techniques de création d'une croûte uniforme sur un sol déterminé varient également. Celui sur lequel on travaille à l'ICRISAT est un Alfisol relativement riche en sable (55% de sable grossier, 23% de sable fin, 5% de limon et 7% d'argile). Sa préparation doit être soignée, de sorte qu'il n'y ait pas de mauvaises herbes. On y aménage des planches surélevées de 1,5 m de large que l'on met en forme à l'aide d'un gabarit donnant une surface plane et lisse d'environ 1,3 m.

La parcelle est irriguée par aspersion pour assurer la germination. On sème quatre rangs en travers de la planche, en prenant soin de semer chacune des graines comptées, toutes à la même profondeur. Les tuyaux pour l'irrigation sont disposés de façon à ce que chacun d'eux asperge dix planches. Après une irrigation de 350 mm, on laisse la surface se dessécher et former une croûte. Cette croûte est brisée mécaniquement dans la partie médiane d'un rang sur deux de la parcelle. Ceci permet la comparaison directe entre la levée en présence et en l'absence d'une croûte. On répartit des témoins à travers le champ pour évaluer l'uniformité de la croûte qui a été créée. Cette évaluation a lieu à une période de l'année durant laquelle il est improbable qu'il pleuve. Dans le cas contraire, elle devrait se faire sous abri. Cette procédure est très uniforme et peut être répétée avec des CV, réellement observés, inférieurs à 10%. Les meilleures des lignées testées jusqu'ici ont des levées atteignant 60% de celles du traitement sans croûte. Dans de nombreux cas, la levée est nulle.

Levée en sol très chaud en surface

On aménage des planches entourées de briques et revêtues de plastique à l'intérieur (1,5 × 1,0 × 0,2 m) sur un terrain surélevé, pour assurer leur drainage. On sème sur chacune une vingtaine de numéros, en lignes courtes (0,45 m), à une profondeur uniforme de 3 cm, avec deux répétitions. Le sol est humecté juste assez pour permettre la germination et la

levée. On sème trois planches de façon identique, les entrées étant toutefois disposés au hasard sur chacune d'elles. La surface du sol de l'une de ces planches est recouverte de charbon de bois et sa température dépasse 60°C; l'autre est blanchie par du kaolin et sa température ne s'élève guère au-dessus de 40°C; la troisième, laissée telle quelle, de couleur rouge dans ce cas, atteint des températures à peine inférieures à 50°C. Ce test est réalisé durant la période chaude et sèche de l'année, la température maximum de l'air allant de 38 à 42°C.

L'évaluation de la levée à travers un sol chaud en surface, selon cette procédure confond la température du sol et son humidité disponible.

En certains endroits, la levée en sol dont la surface est froide peut avoir son importance. Une procédure analogue peut être suivie, ensement au début du printemps, lorsque la température de l'air est à peine au-dessus de 0°C et que le sol est froid.

Une autre technique a été mise au point, selon laquelle les plantes à tester sont semées dans des pots de 15 cm, ceux-ci étant placés dans des bassins contenant de l'eau à une hauteur de 10 cm. Une batterie de lampes à infrarouge est montée au-dessus, sa hauteur étant réglable. On peut ainsi porter la température du sol à la valeur désirée, en jouant sur la distance entre les lampes et la surface du sol, celui-ci restant constamment humide par capillarité grâce à l'eau des bassins pour ne pas confondre les effets de la température du sol et l'eau disponible.

Résistance des plantules à la sécheresse

On utilise des planches entourées de briques, comme ci-dessus. Les semis sont réalisés de la même manière et l'on arrose pour assurer la germination et la levée. Puis, on laisse les plantules se flétrir et l'on fait les notations périodiquement, au fur et à mesure des progrès du processus. Lorsque plus de 50% des plantules sont irrémédiablement fanées, la planche est arrosée à nouveau et l'on note les reprises après quatre et vingt-quatre heures. Le même test peut être conduit, avec plus de précision, en serre. On utilise des tubes en polychlorure de vinyle, de 10 cm de diamètre et 30 cm de haut. On sème, en cercle, douze graines par tube et l'on éclaircit à 8 à la levée. La notation se fait comme ci-dessus, 1 correspondant au flétrissement le plus tardif et à la reprise la plus rapide, et 5 au comportement le plus défavorable. Il y a lieu d'ensemencer certains tubes avec des variétés standard qui servent de témoins. Le caractère vernissé "glossy"

identifié chez le sorgho (voir références) s'est montré en liaison avec la résistance des plantules à la sécheresse. (Tarumoto et al. 1981).

Vigueur à la levée

On a étudié différentes méthodes pour tester et évaluer la vigueur à la levée. La corrélation entre l'estimation visuelle et les autres méthodes est bonne et l'on peut donc recommander une notation de 1 bon à 5 mauvais, basée sur l'appréciation à vue.

Celle-ci a lieu 10 à 20 jours après la levée. L'observateur qui commence ces notations arrive rapidement à "sentir" le champ et acquiert une certaine confiance dans son jugement (Maiti et al. 1981).

Il est important, pour toutes ces études, de choisir avec grand soin les semences mises en oeuvre. Elles doivent être scrupuleusement triées de façon à être toutes saines, bien pleines, et de dimensions normales. Elles doivent avoir été convenablement stockées, et toutes durant le même temps. Idéalement, elles devraient provenir d'une même récolte d'une culture des lignées et variétés d'essais en jeu. Si ce facteur n'est pas soigneusement contrôlé, certaines différences observées pourraient être dues aux semences utilisées plutôt qu'à des caractéristiques variétales.

Sélection en vue de la qualité alimentaire

On cultive le sorgho en zones tropicales semi-arides, durant la saison des pluies, essentiellement à titre vivrier. Les paysans ont sélectionné, traditionnellement, des types de plantes fleurissant à la fin des pluies de façon à ce que les grains arrivent à maturité brillants et propres, par temps sec, et soient d'une excellente qualité alimentaire. La stabilité du rendement et la qualité étaient considérées comme plus importantes que le niveau de rendement. D'autre part, les variétés récentes ont été choisies pour leur précocité, leur indice de récolte (matière sèche du grain/matière sèche aérienne totale) amélioré, une productivité globale plus élevée, et par dessus tout un rendement stable tant en années normales qu'anormales. Cependant, de tels génotypes à hauts rendements, insensibles au photopériodisme, mûrissent souvent quand le temps est encore humide et posent quantité de problèmes relatifs à la qualité du grain. L'utilisation

de gènes exotiques conduit aussi souvent à des problèmes imprévus d'acceptabilité du produit pour le consommateur, à moins que l'on ait identifié des types de grains acceptables et qu'on les ait sélectionnés dès les premières générations du programme.

Les moisissures des grains et leur exposition au mauvais temps sont les facteurs qui influent le plus sur la qualité du produit des cultures de saison des pluies. Les grains moisissus ou détériorés ne sont souvent pas consommables, ou de qualité alimentaire très médiocre. Les problèmes engendrés par la pluie et l'humidité sont :

- i) la sensibilité aux champignons parasites et saprophytes qui détruisent le grain;
- ii) la pigmentation et l'altération du grain soumis au mauvais temps;
- iii) le perte de viabilité des semences et/ou leur germination.

Comme les préférences des paysans sont liées à la qualité du grain, en tant que produit de consommation, et à sa valeur commerciale, la détérioration des grains et les problèmes de qualité alimentaire qui lui sont liés sont cruciaux pour la vulgarisation des génotypes à haut rendement.

Il est bien clair que les problèmes d'altération et de moisissure des grains sont étroitement liés à la qualité alimentaire. C'est en raison de cette association que ces deux aspects seront pris ici en considération.

Moisissures des grains

Des études étiologiques ont démontré que des champignons saprophytes aussi bien que des champignons parasites sont responsables des moisissures des grains, qu'ils attaquent dès le début de leur développement. Leur croissance est favorisée par un temps chaud et humide.

On a isolé, au Centre ICRISAT, dix-sept espèces de champignons, appartenant à onze genres différents. Les moisissures parasites les plus importantes sont *Curvularia*, *Fusarium*, *Phoma*, *Olpitrichum* et *Trichothecium*. Les travaux les plus poussés ont porté sur *Curvularia* (qui donne aux grains une coloration noirâtre charbonneuse) et *Fusarium* (qui les colore en rose).

La sélection en vue de la résistance de la plante hôte est sans doute la solution la plus pratique du problème de la moisissure des grains. Une méthode

de criblage a été définie (voir la sous-partie relative aux moisissures des grains, page 147.).

La Figure 4.8 illustre un programme de sélection mettant en oeuvre des sources de résistance. Des parents à haut rendement et à grains de bonne qualité ont été sélectionnés à partir de différentes sources et les croisements appropriés réalisés en combinaisons à une, deux ou trois voies. La sélection en F_2 a été pratiquée en condition de milieu naturel; mais dès les générations F_3 et F_4 , les familles ont été inoculées avec *Curvularia* et *Fusarium* de façon à identifier les moins sensibles.

Il faut noter qu'il y a lieu de protéger les parcelles de criblage contre les punaises des panicules. Les dommages causés par ces insectes interfèrent en effet avec les notations concernant les moisissures. Il est possible de les contrôler par des traitements au carbaryl (Sevine), en pulvérisation ou en poudrage, juste après la floraison. Il peut s'avérer nécessaire de traiter plusieurs fois en raison de la variabilité des dates de floraison du matériel végétal considéré.

Le processus de sélection, suivi de criblages, se déroule de façon continue et, au fur et à mesure que des génotypes agronomiquement supérieurs d'une diversité génétique plus grande et possédant un grain de bonne qualité alimentaire acquièrent un meilleur niveau de résistance, les lignées médiocres et moins diversifiées sont éliminées. L'un des objectifs importants consiste à créer une gamme de lignées génétiquement diverses ayant un grain de bonne qualité alimentaire et résistant bien aux moisissures, ceci au sein d'un matériel végétal diversifié (Murty et al. 1980).

Evaluation de la qualité alimentaire

Deux concepts fondamentaux entrent ici en jeu. Il faut définir des procédures de criblage efficaces et reproductibles, d'une part, et d'autre part le travail doit être conduit en liaison avec des gens habitués à consommer telle ou telle préparation, et capables de dire si un échantillon est bon, ou mauvais.

Préparations culinaires à base de sorgho

Il existe de nombreuses façons de préparer des aliments à partir du sorgho, et l'on peut les classer en neuf groupes pour évaluer la qualité alimentaire du grain :

1. Pain sans levain (roti - Inde);
2. Pain avec levain (injera - Ethiopie, kiswa - Soudan);
3. Pain fait à partir de grains cuits à l'alcali (tortilla - Mexique et Amérique centrale);
4. Bouillie épaisse (ugali - Afrique de l'Est, tô ou teau - Afrique de l'Ouest, bogobe - Botswana, sangati - Inde);
5. Bouillie fluide (ugi - Afrique de l'Est, edi, ogi - Nigéria, ambali - Inde);
6. Grains bouillis (entiers ou brisés - Chine, Inde, parfois en Afrique);
7. Pâtes alimentaires (nouilles - Chine);
8. Boissons (vin - Chine, bière - Afrique, boissons non alcoolisées - Afrique, Amérique latine);
9. Amuse-gueules (pop et sorgho sucré).

Critères relatifs à la qualité alimentaire du point de vue du consommateur

Couleur : Le blanc prédomine pour les grains à usage alimentaire. Cependant, dans certaines régions, comme l'Afrique de l'Est, où l'on cultive traditionnellement le sorgho pour éviter les problèmes relatifs aux oiseaux, les grains bruns sont acceptables. Ceux-ci peuvent avoir, ou non, une forte teneur en tanin. Chimiquement les tanins sont des polyphénols solubles de poids moléculaire élevé. Ils inhibent la digestibilité des protéines, de sorte que les types riches en tanin sont de faible valeur, même pour l'alimentation du bétail. Les grains rouges exempts de tanins conviennent particulièrement bien au brassage. Les grains rouges, décortiqués, peuvent aussi fournir des produits alimentaires attrayants.

Il n'est pas facile d'estimer, à vue, la teneur en tanin, lorsqu'il en existe. Les types à péricarpe blanc ou rouge, sans testa, ont une teneur en tanin nulle, ou négligeable. Ainsi, le tanin n'est préoccupant que pour les grains de couleur brune (y compris les grains blancs à testa), lors des tests concernant la valeur alimentaire.

Les grains bruns sont consommés dans certaines régions et dans certains cas; cependant, ils ne font en général l'objet d'aucune préférence. Le fait que tel ou tel aliment soit considéré comme acceptable dépend des possibilités de choix du consommateur. Pour cette raison les chercheurs doivent déterminer et sélectionner ce qui est apprécié dans le milieu même de la culture. Les grains blancs sont le plus largement acceptés, ils valent donc d'être également évalués dans les zones où l'on utilise des variétés à grains colorés. Comme la couleur du grain est sous la dépendance de gènes majeurs (voir la

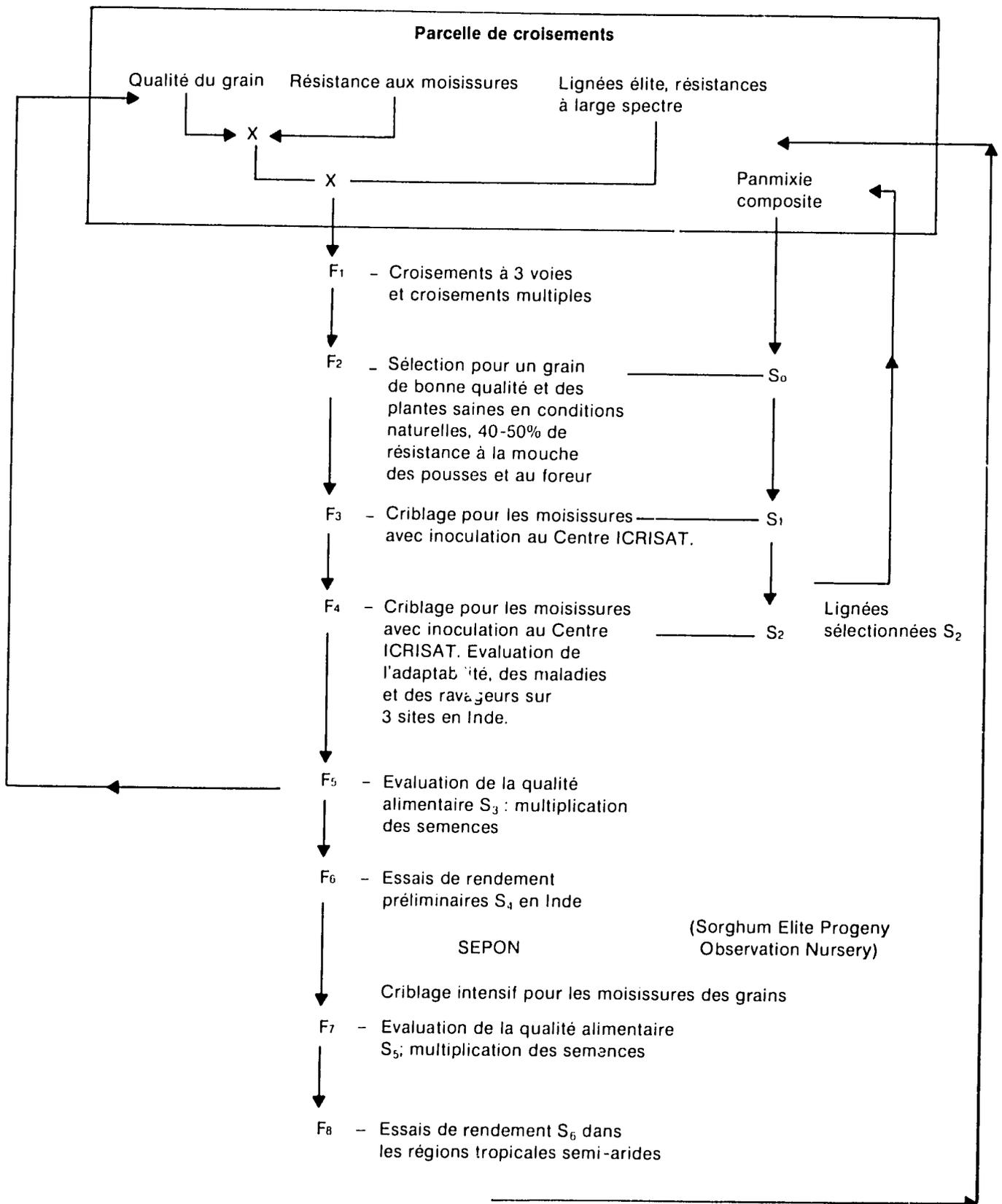


Figure 4.8: Programme de sélection pour l'amélioration de la qualité des grains et la résistance aux moisissures.

Troisième partie, relative aux caractères génétiques du sorgho), il est relativement aisé de combiner la couleur blanche du grain à d'autres caractères agronomiques. Il n'apparaît pas que la couleur blanche amène une réduction de la variabilité pour d'autres caractères (variation polygénique en général) ou vice versa.

Dimensions et poids des grains : On préfère en général les gros grains. Il y a une corrélation positive entre la grosseur et le poids des grains. Un poids de 100 grains allant de 3 à 3,5 g est considéré comme acceptable. Au-dessus de ce poids, il y a souvent une corrélation avec un manque de dureté de l'endosperme et une certaine sensibilité aux moisissures et aux ravageurs des stocks. On estime fréquemment, de façon simplement visuelle, la grosseur des grains, mais il y a lieu de s'appuyer sur la détermination du poids des grains, au moins pour les variétés et lignées figurant dans les essais de rendements.

Forme du grain : On préfère les grains ronds ou ovales. Ils présentent des avantages pour le traitement, tant par les méthodes traditionnelles que par les moyens industriels. Il est plus difficile d'éliminer le péricarpe des grains aplatis ou de ceux munis d'un bec. Malheureusement, ces deux caractères sont dominants. La sélection doit porter sur les types ronds ou ovales.

Péricarpe : On préfère en général un péricarpe mince (dominant). En de nombreux pays d'Afrique, un péricarpe épais allant de pair avec un endosperme dur est avantageux pour le décorticage traditionnel (perlage). Cependant, dans le sous-continent indien, on n'apprécie guère l'épaisseur du péricarpe. Ainsi les deux types peuvent-ils présenter un intérêt. Il est important de tenir compte de ce genre de facteurs lors de la sélection de lignées destinées à être testées dans des pays différents.

Couleur de la plante : Les grains des plantes de couleur brune sont les moins tachés. Même chez les plantes de couleur brune, l'intensité de la coloration varie, de sorte que les grains issus de ces plantes doivent aussi être examinés pour vérifier l'absence de teintes jaunes, de taches, etc. On sélectionne de préférence les couleurs les plus claires. Le choix des plantes brunes n'a pour but que d'éviter la pigmentation des grains. La rosée, ou la pluie suffisent, en cours de maturation, pour donner des taches colorées sur les grains des plantes de couleur rouge ou pourprée. Les piqûres d'insectes, et d'autres microlésions produisent aussi des taches colorées. Les glumes doivent être de couleur paille ou ocre, car elles déteignent souvent sur les grains.

Dans les régions sèches, où la maturité coïncide

avec l'absence de pluies, les plantes de couleur rouge ou pourpre sont d'un usage plus courant. La sélection de plantes brunes ne doit pas amener à la réduction de la diversité; toutefois, il peut être utile de conserver, dans les programmes de croisements, de bons génotypes rouges ou pourpres détenteurs de caractères favorables. La couleur de la plante, régie par des gènes majeurs, peut se recombinaison avec tout autre caractère.

Caractères de l'endosperme : Les grains "waxy" (cireux, avec prédominance de l'amylopectine sur l'amylose) sont en général à éviter car ils ne font l'objet d'une préférence dans aucun pays, à l'exception de la Chine. En fait, ils posent de nombreux problèmes en ce qui concerne la qualité alimentaire. Il n'est pas facile de repérer, au champ, les grains "cireux". Il est préférable d'identifier les variétés "cireuses" au début du programme de croisements et de les croiser à part si l'on attache de l'intérêt à ce caractère. L'endosperme "cireux" est régi par un gène récessif unique; l'endosperme amylicé révèle la xénie.

L'endosperme jaune fait l'objet de peu de préférence, mais ceci n'est pas critique. On ne connaît pas encore totalement l'hérédité de ce caractère, mais on sait qu'il n'est gouverné que par quelques gènes seulement. Les grains à endosperme jaune présentent des inconvénients. Ils sont très sensibles aux diverses altérations, de même qu'aux ravageurs des stocks. Leur carotène, d'activité vitaminique A réduite, se détruit au cours du stockage, et même lors du séjour au champ. Leur faculté germinative peut également être affectée par le stockage. C'est pourquoi, il ne faut les sélectionner que pour les régions les plus sèches. On préfère, d'une façon générale, les types à endosperme blanc.

Texture : La texture dépend des proportions entre les parties farineuses et cornées de l'endosperme et c'est le facteur le plus important en ce qui concerne la qualité alimentaire. Il est possible de l'évaluer, visuellement, en sectionnant quelques grains et en observant la proportion de l'endosperme qui est vitreuse. En général, le grain est d'autant plus dur que l'endosperme est vitreux. L'endosperme farineux donne un grain tendre. Les bouillies bonnes et épaisses populairement consommées et appréciées en Afrique sont à base de grains durs. Les sorghos à grains moyennement tendres, à tendres, conviennent aux pains levés consommés au Soudan et en Ethiopie. Les "roti", "tortillas", et produits analogues au riz étuvé, préparés à partir de grains de texture intermédiaire, sont de bonne qualité.

Les caractères de dureté et de densité de l'endo-

sperme paraissent dominant sur l'endosperme tendre, mais cette observation demande des études plus poussées.

Il semble, d'après l'expérience, que les grains à embryons "exposés", tels que l'on en voit chez de nombreux types *caudatum* germent sur la panicule plus fréquemment que ceux dont l'embryon se situe plus en profondeur.

Sélection pour les caractères de qualité alimentaire

La sélection pour les caractères de coloration de la plante et du péricarpe, et de l'épaisseur de celui-ci doit débiter dès la F_2 et la F_3 . Comme ces facteurs sont, plus ou moins, déterminés à ce stade, les perspectives de sélection ultérieure sont médiocres.

Les dimensions et la forme du grain, son poids, et la texture de l'endosperme doivent être sélectionnés dans les générations F_2 , F_3 et F_4 . Les perspectives d'amélioration, au sein des familles, au delà de la F_4 , sont également très médiocres.

L'évaluation plus poussée de l'intérêt, au point de vue alimentaire, du matériel végétal sélectionné au champ, ne peut se faire qu'en laboratoire. L'expérience acquise montre que l'on ne peut accorder plus de 50% à 60% de confiance, en ce qui concerne la qualité alimentaire, aux sélections réalisées au champ.

Méthodes employées pour évaluer le "roti" ("chapati")

Les études qualitatives réalisées à l'ICRISAT sur le sorgho ont porté, pour l'essentiel, sur la préparation du "roti" (pain sans levain); en conséquence, on les utilise ci-après pour mettre en lumière le problème posé à la recherche.

Les tests rapides en usage pour déterminer la qualité alimentaire du blé ne conviennent pas au sorgho; une technologie analogue reste à définir. Des recherches dans ce sens ont été entreprises et sont encore en cours. Dès le début, l'effort s'est porté sur la standardisation des étapes de confection du "roti" ou "chapati". On a défini les tests suivants :

Grain : Couleur, poids, densité, note de texture de l'endosperme. Celle-ci est déterminée sur une échelle de 1 à 5 (1 correspondant à une portion farineuse de 0 à 20% et 5 à une portion farineuse de 81 à 100%), par la résistance (en kg) et par le pour-

centage d'eau absorbée par le grain en cinq heures de trempage à température ambiante.

Farine : Granulométrie de la farine (PSI = particle size index). C'est une mesure relative de la dimension moyenne d'une particule d'un échantillon de farine. On peut la déterminer en fonction du pourcentage d'un échantillon de farine passant à travers un tamis standard (par exemple 75 μ).

Pâte : Quantité d'eau nécessaire (en ml) pour faire une pâte à partir de 30 g de farine. Note de pétrissage (de 1 à 3), aptitude au roulage (diamètre en cm.).

"Roti" : La couleur, le goût, la consistance, l'arôme, la faculté de conservation de ce pain sont testés de la façon suivante :

- Couleur-les couleurs du grain, de la pâte, du "roti" sont comparées avec la gamme étalon de Munsell pour les teintes de sol.
- Goût de-1 bon, à 5 mauvais, d'après sondage d'un échantillon de consommateurs.
- Consistance-de 1 très tendre à 5 très dur.
- Arôme-de 1 agréable à 3 déplaisant.
- Faculté de conservation-de 1 bonne à 5 exécration.

Le goût, la consistance et l'arôme sont jugés par un groupe ("panel") dont les membres sont choisis en tant que consommateurs traditionnels, aptes à apprécier, de façon cohérente, ces caractéristiques sur différents échantillons.

Variation génétique : Une gamme choisie de 422 génotypes d'origines et de couleurs de grains diverses a été évaluée au cours d'observations répétées. Ces 422 génotypes présentaient une grande diversité, sauf pour la densité du grain. Les caractères physiques du grain—texture de l'endosperme, résilience, et pourcentage d'eau absorbée par le grain, étaient très variables. Les critères de qualité de la pâte—quantité d'eau nécessaire, note de pétrissage, aptitude au roulage, variaient moins. Les notes organoleptiques divergeaient également, de 1 à 5. Il apparaît ainsi que la variation des paramètres de qualité des grains est considérable et permet de sélectionner efficacement pour différents types d'aliments.

Un lot de 167 génotypes, retenus parmi les 422 précédents, pour leurs grains blancs, blancs crémeux, ou jaune-pâle a montré une variabilité équivalente à celle de l'ensemble. Ceci montre la difficulté qu'il y a à sélectionner pour une bonne qualité alimentaire en ne se basant que sur l'aspect attrayant (Tab. 4.19) (Murty et al. 1982).

Tableau 4.19: Variabilité des critères de qualité pour le grain, la pâte, et le "roti" entre 422 génotypes de sorgho.

Critère	Moyenne + écarts-type	Valeur	
		Maximum	Minimum
Grain			
Texture de l'endosperme	2,5 + 0,03 (2,5 + 0,05) *	5,0 (4,0)	1,0 (1,0)
Poids des grains (g/100)	3,49 + 0,043 (3,43 + 0,048)	7,63 (5,27)	2,04 (2,04)
Résilience (kg)	8,4 + 0,09 (8,9 + 0,15)	14,6 (14,6)	0,8 (5,5)
Densité	1,26 + 0,002 (1,23 + 0,002)	1,38 (1,32)	1,002 (1,119)
Absorption d'eau (%)	25,3 + 0,23 (26,3 + 0,38)	43,1 (42,1)	12,4 (14,4)
Pâte			
Eau nécessaire (ml)	27,9 + 0,12 (27,2 + 0,17)	38,9 (37,5)	20,9 (20,9)
Note de pétrissage	1,2 + 0,22 (1,1 + 0,01)	3,0 (3,0)	0,5 (0,5)
Aptitude au roulage (cm)	22,0 + 0,06 (22,3 + 0,08)	22,8 (25,4)	15,2 (16,2)
"Roti"			
Goût	2,3 + 0,03 (2,0 + 0,04)	5,0 (3,5)	1,0 (1,0)
Consistance	2,2 + 0,02 (2,2 + 0,04)	4,5 (4,0)	1,0 (1,0)
Arôme	1,4 + 0,02 (1,4 + 0,03)	3,0 (3,0)	1,0 (1,0)
Aptitude à la conservation	2,8 + 0,03 (2,6 + 0,04)	5,0 (4,5)	1,0 (1,0)

*Les nombres entre parenthèses concernent les 167 génotypes sélectionnés.

Critères de sélection pour la qualité du "roti"

La variation annuelle du poids de 100 grains, de la résilience, du taux d'absorption de l'eau, des notes de pétrissage et d'aptitude au roulage, de l'arôme du chapati et de l'aptitude à la conservation, est très significative. De même, l'interaction génotype-année est extrêmement significative pour plusieurs caractères. Ceci souligne qu'il y a lieu de maîtriser à l'extrême les conditions de culture pour les tests de qualité alimentaire. Il vaut mieux ne comparer que

des variétés cultivées sur le même champ et dans une même parcelle. En cas de variabilité élevée d'année sur l'autre le milieu a une forte influence sur le caractère.

La sélection devra être envisagée, au début, vers des grains à endosperme blanc ou jaune de texture cornée à 60 ou 70%, sans testa et, à péricarpe mince. On peut évaluer, dès la F₃ ou la F₄, sur des échantillons de grains, les propriétés physiques recherchées, comme la faible absorption d'eau.

Il vaut mieux ne tester les farines et les pâtes qu'à partir de la F₅, les tests de dégustation des produits ("rotis") en laboratoire, par un échantillon de con-

sommateurs, n'ayant lieu qu'à la F₆ et portant uniquement sur les lignées élite en essais de rendements. Les essais d'acceptabilité à grande échelle ne sont nécessaires que pour un petit nombre de cultivars les plus avancés. Ce processus va de l'élimination, basée sur l'aspect des grains, à une sélection en fonction des résultats au laboratoire, jusqu'à la préparation réelle du produit alimentaire.

Facteurs du milieu affectant la qualité du grain

Humidité : Il a été observé que les grains récoltés en saison des pluies sont souvent de poids et de résilience réduits, absorbent davantage d'eau et sont de qualité organoleptique relativement plus médiocre. La sélection menée à la fois en saison des pluies et en contre-saison permet de progresser et d'amenuiser ces différences.

Dix échantillons ont été cultivés avec, ou sans, niveaux d'humidité adéquats. On en a trié la récolte de façon à ne conserver que les grains sains et bien pleins. L'humidité inadéquate a fait baisser le rendement de 38,5%. Il y a eu des différences dans la texture de l'endosperme, dans le poids de 100 grains, dans l'absorption d'eau, et les facultés de pétrissage et de roulage. Celles-ci n'étaient cependant pas statistiquement significatives, pas plus que les modifications de goût du "roti", de sa consistance, de son arôme et de sa faculté de conservation. Il semble que le déficit d'humidité ne joue pas un rôle majeur sur la qualité alimentaire, pour autant que les grains aient un développement normal.

Origine géographique : On a remarqué que les échantillons de grains provenant de deux localités de l'Inde, Mohol et Bijapur donnaient un "roti" de qualité supérieure à celui préparé à partir de la même variété (M35-1) cultivée au Centre ICRISAT (Patancheru). Dans tous les cas, les cultures avaient eu lieu après la saison des pluies.

Fertilité : Six cultivars ont reçu des doses d'azote de 0, 60, 120 et 200 kg/ha. Les plus grandes différences observées se situaient entre le niveau 0 et les autres, mais elles n'étaient pas statistiquement significatives pour les différentes doses d'azote.

Généralités : Il est clair que la pluie et l'humidité lors de la maturation du grain sont les facteurs du milieu qui affectent le plus sa qualité. L'expérience indique que, lors des comparaisons qualitatives entre différents matériels sélectionnés, il importe d'opérer sur des grains provenant d'une culture dans un même champ au cours de la même saison.

Techniques de travail au champ

Conduite de la culture

Le sélectionneur opère en fonction des comparaisons qu'il fait entre différents individus, lignées ou variétés. Il s'ensuit que les parcelles de collections, ou d'essais de rendement doivent être conduites d'une façon homogène assurant une vigueur satisfaisante de la culture. Il lui est impossible d'identifier un potentiel génétique quelconque si celui-ci est complètement masqué par la médiocrité générale de l'environnement.

Le sélectionneur doit donc choisir, pour travailler, le terrain le plus convenable, puis le cultiver en préservant, au maximum, son homogénéité. (Cet idéal, quoique rarement atteint, demeure un objectif essentiel).

Les conditions varient énormément. En de nombreuses régions tropicales, le statut hydrique des cultures est irrégulier et imprévisible, de sorte qu'il faut assurer le drainage (et éventuellement l'irrigation). Les champs retenus doivent avoir un drainage convenable, ou être aménagés afin que le ruissellement des eaux sur le champ et leur écoulement en dehors y soient uniformes. La croissance des plantes dans les points bas est favorisée en cas de sécheresse et, au contraire, inhibée lors de pluies abondantes.

Les billons et les sillons sont souvent d'une grande utilité. Il faut semer les plantes au sommet des billons (planches) à moins qu'il n'y ait un problème de salinité (dans ce cas, il faut semer sur le côté du billon, loin du milieu, ou au milieu des billons en pente). Les billons doivent être larges et plans, plutôt qu'étroits et aigus. En cas de fortes pluies, les billons étroits et au relief accusé s'érodent le plus souvent et les plantes versent (surtout en début de croissance). En général, les terrains aménagés pour l'irrigation le sont aussi pour le drainage.

La sélection requiert une certaine précision des façons culturales, autant que pour une bonne exploitation. Les instruments lourds, fixés de façon rigide sur un bâti mû par des animaux ou par un tracteur réalisent en général un travail du sol plus précis que les outils légers en bois, à traction animale, qui ont tendance à entrer profond dans les endroits humides et à dérapper sur ceux qui sont secs et durs. Les engrais épandus en ligne peuvent être plus ou moins rapprochés d'un endroit à l'autre, des grains semés en lignes. Les sabots de l'épandeur d'engrais doivent être maintenus ouverts, ceci surtout si le sol est humide. L'utilisation du tracteur et

de l'outillage qui l'accompagne pose des problèmes mais permet souvent un meilleur travail.

La mécanisation exige du sélectionneur qu'il attache autant d'importance aux conducteurs, à la mécanique, et aux pièces de rechange qu'à l'équipement lui-même. Si l'ensemble est disponible, le tracteur permet un travail du sol, des façons d'entretien, et une protection des cultures, plus rapides, et de meilleure qualité. Les surfaces consacrées à l'expérimentation peuvent ainsi être accrues, et, en milieu tropical, les terres peuvent être préparées assez rapidement pour permettre de réaliser trois générations par an.

Les collections et les parcelles d'essai de rendement doivent recevoir une fumure azotée, que les conditions hydriques soient satisfaisantes ou non. Les doses peuvent aller de 30 à 40 kg/ha en conditions assez sèches, à 150 kg d'azote à l'hectare si l'humidité du sol est convenable. Sous une forte pluviosité, il peut y avoir des pertes d'azote, dues au lessivage ou à la dénitrification, il y a alors lieu d'accroître les doses d'azote. Les niveaux d'azote doivent être assez élevés pour que la culture ne souffre pas d'un manque d'azote. La fumure azotée doit être fractionnée, la moitié étant épandue en ligne, au voisinage des graines (5 à 10 cm), au moment du semis, et le reste 35 jours environ après la levée. L'épandage en lignes de l'engrais évite la stimulation des mauvaises herbes et favorise la croissance rapide des plantules si les attaques d'*Atherigona* posent un problème.

Il convient d'équilibrer les doses d'azote dans la fumure minérale, avec les apports de phosphore et de potassium. Le superphosphate est épandu à la volée et enfoui. Les oligoéléments peuvent avoir une certaine importance (le fer et le zinc en certains endroits de l'Inde, par exemple). La carence en fer se corrige par la pulvérisation d'une solution de sulfate ferreux à 3%, en quantité suffisante pour mouiller les feuilles. La carence en zinc se corrige par l'adjonction de 10 à 25 kg/ha de sulfate de zinc à la fumure minérale, ou par la pulvérisation d'une solution à 0,5% en quantité suffisante pour mouiller les feuilles. L'addition d'une petite quantité de détergent (environ 10 cc pour 15 litres) est à recommander pour réduire la tension superficielle et permettre une meilleure couverture du feuillage.

Il y a lieu d'utiliser des engrais granulés lorsque le semis est fait avec un semoir mécanique. Un marqueur indiquant l'emplacement des semences est alors fixé sur l'épandeur d'engrais. Si l'engrais est épandu à la main ou avec des instruments artisanaux, il faut éviter qu'il entre en contact avec les semences. Il existe de nombreux épandeurs d'en-

grais à traction animale, très satisfaisants. Les semis peuvent se faire en lignes ou en poquets. Une densité de 150 000 plantes à l'hectare suffit pour obtenir une expression correcte des plantes.

Lorsque l'on cultive un matériel végétal très hétérogène, ou des générations en cours de disjonction dans un programme de sélection, il y a lieu d'augmenter les écartements (75 cm entre les rangs et 26 cm sur le rang) ceci permettant une meilleure expression des plantes en réduisant la compétition entre plantes.

Il n'est pas recommandé de cultiver le même champ en sorgho année après année. Il est essentiel de provoquer la germination des graines des cultures précédentes, avant le nouveau semis, pour éviter un grave problème de pollution par les repousses spontanées. La pré-irrigation le permet. Dans plusieurs cas, en Inde, l'infestation par les nématodes après trois ou quatre cultures successives de sorgho a posé des problèmes graves. Dans ce cas, il faut recommander une rotation, de préférence avec une culture non-céréalière. Les dommages dus aux nématodes revêtent deux formes : Les plantes de la parcelle sont toutes rabougries, à l'exception de quelques petits groupes répartis au hasard, ou toutes les plantes, dans une partie du champ, sont rabougries, le restant étant normal. Dans le premier cas la gamme des hôtes du nématode est assez étendue et va du sorgho jusqu'à la légumineuse qui le suit dans l'assolement. Si l'on utilise des nématicides, il faudra, dans la plupart des cas, les incorporer au sol plusieurs semaines avant le semis.

Il est nécessaire de protéger les collections de travail, et sans doute aussi les essais de rendements, contre les attaques d'insectes. La seule raison de ne pas le faire serait d'instaurer une pression de sélection pour la résistance, ou pour l'étude d'un problème génétique mettant cette résistance en jeu.

De nombreux facteurs sont à considérer lors de l'adoption de mesures de protection des plantes pour une collection. Il est possible que la pullulation des insectes soit saisonnière et que la culture soit réalisée durant la saison où ils sont abondants, pour aboutir plus vite à la création d'une variété à cultiver durant la saison où les insectes sont absents. La protection est également indispensable lors de croisements, de sélection ou simplement de l'introduction du matériel végétal encore inadapté. Il est ainsi possible d'augmenter dans une mesure considérable le rendement d'une variété sensible. La protection peut donc être mise en œuvre, car rentable. On peut alors l'inclure dans l'ensemble ("package") des techniques vulgarisées. Dès que des

sources de résistance sont identifiées la sélection devra s'efforcer d'en tirer parti.

Il existe, parmi les insectes, des prédateurs valables des acariens et des pucerons. Il ne faut pas faire usage d'insecticides risquant de les tuer; ils rendent en effet souvent plus service que les insecticides. Il existe par exemple des acariens (*Oligonychus*), dont de petits coléoptères (1 à 2 mm) sont les ennemis actifs. Les pulvérisations d'insecticides destinés à lutter contre *Chilo partellus* peuvent détruire ces derniers et aboutir à des attaques massives d'*Oligonychus*. Il est recommandé dans une telle situation, d'appliquer les insecticides sous forme de granulés. Les pucerons sont souvent efficacement contrôlés par des coccinelles, tant à l'état de nymphes qu'au stade adulte.

La lutte chimique contre certaines maladies est souvent malaisée. Ainsi l'influence de la date de semis, et la sélection de variétés résistantes, doivent-elles être prises en considération dès le début. Le recours, comme point de départ, à une importante collection variétale est souvent payant.

La longueur de la période qui va du semis à la floraison dépend de la couverture des besoins hydriques, de la fumure, et des mesures de protection des plantes, tout autant que de la température et de la longueur des jours. Les plantes fleurissent d'autant plus vite que leur croissance est bonne. La date de floraison peut varier de deux semaines ou plus en fonction de la fertilité et du degré d'humidité du sol. Plus le sol est fertile et proche de son degré d'humidité optimum, plus précoce est la floraison. Dans une parcelle de croisements la croissance des plantes doit se dérouler selon les prévisions.

Des déficiences graves de l'homogénéité du champ, ou de sévères attaques d'insectes peuvent modifier les dates de floraison prévues et aboutir à la production de quantités d'hybrides très inférieures à ce que l'on escomptait.

Les besoins en eau des plantes sont maximum au moment de la floraison. La venue à grains optimum est obtenue lorsque l'eau ne joue pas un rôle limitant à ce moment. Cependant, la manipulation raisonnée de l'irrigation et de la fumure (surtout, si elle débute 30 jours après le semis) peut hâter ou retarder la floraison de tout ou partie d'une parcelle de croisements. La coïncidence des floraisons peut encore être améliorée, dans une certaine mesure, au stade de l'émission de la feuille paniculaire (début de la montaison) en arrosant libéralement une parcelle et moins l'autre. Toutefois, il ne faut jamais assoiffer les plantes. La manipulation efficace de l'irrigation et de la fumure pour ajuster les dates de floraison demande une certaine

expérience, mais c'est une connaissance qu'il vaut la peine d'acquérir.

La protection de plantes est importante pour assurer une croissance normale, aussi bien que pour éviter des pertes de grains en cours de maturation, du fait des *Heliothis* (head worm), des oiseaux et des moisissures. Il y a lieu de fixer la date de semis de façon à éviter que la maturation n'ait lieu durant une période où de fortes pluies sont probables.

Dispositifs expérimentaux au champ

Lors de la mise en place des collections et des essais de rendements, il ne faut jamais attribuer le même numéro à deux parcelles au cours de la même saison. En effet, dans ce cas, il pourrait y avoir des confusions après la récolte, les sacs correspondants n'étant identifiés que par le numéro de la parcelle.

Il est en général commode de semer les rangs dos à dos, comme le montre la Figure 4.9. La numérotation est réalisée selon un dispositif alterné, commode pour les observations et l'enregistrement dans les documents de travail.

Les essais de rendements sont disposés de sorte que les variétés de hauteurs et de cycles analogues figurent dans les mêmes parcelles. Les plantes de haute taille ombragent et étouffent celles de petite taille, au point de les empêcher d'exprimer leur potentiel. La diversité des dates de maturité dans un même essai complique la récolte et il est souvent

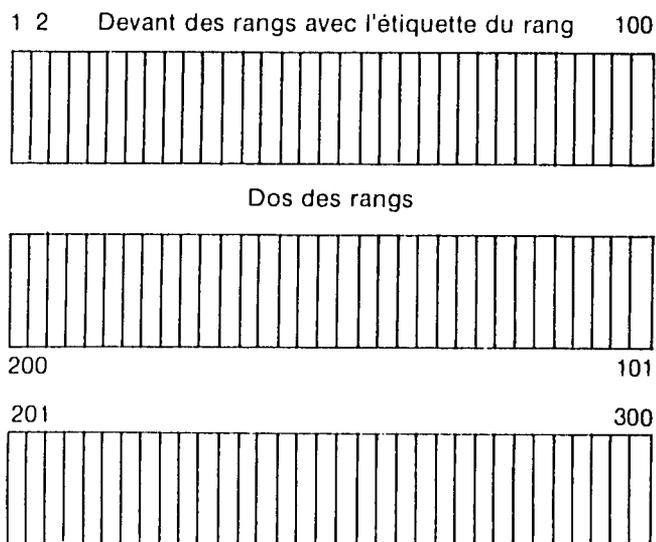


Figure 4.9: Système de numérotation alternée pour les parcelles.

impossible de récolter l'ensemble d'un essai à une même date si les cycles sont très discordants. Les répétitions doivent avoir une forme aussi carrée que possible, pour réduire l'influence de l'hétérogénéité du sol. Chacune d'elle doit être implantée sur un terrain aussi homogène que possible, même s'il faut, pour cela, les disperser beaucoup.

Les parcelles doivent occuper la totalité du champ. Il ne faut pas planter un petit essai dans un grand champ en laissant en jachère la partie inutilisée. Les portions de terrain situées entre le bord de l'essai et celui du champ seront utilisées à la multiplication, ou à la culture d'un bulk de l'essai. De telles précautions aident à conserver l'uniformité du champ.

Date de semis : L'utilisation efficace de certaines lignées peut être fonction de leur réaction au photopériodisme. Une lignée sensible fleurira pour un semis d'octobre tandis que, semée en mars, elle peut se montrer beaucoup plus tardive ou même demeurer à l'état végétatif. D'une façon générale, les types photosensibles semés de juin à début février (à la latitude de 18°N), fleurissent, tandis que les variétés semées en fin février, mars et avril peuvent rester à l'état végétatif. Les cycles végétatifs ont une durée minimum pour les semis d'octobre à début décembre. A 11°N, les variétés sensibles semées au début d'avril restent à l'état végétatif, tandis qu'à 18°N, les semis réalisés de la mi-février au début du mois de mars restent à l'état végétatif. La température peut jouer un rôle. Les plantes semées en novembre et en décembre à Hyderabad, en Inde (18°N à une altitude de 535 m) poussent très lentement au cours de la période fraîche (de décembre à début janvier). Si elles sont au stade plantules au cours de cette époque, il peut s'avérer très difficile de les protéger des attaques d'*Atherigona* (mouche des pousses).

Certains problèmes d'insectes ou de maladies peuvent influencer la date du semis. Par exemple, les populations d'*Atherigona* augmentent beaucoup, sur l'ensemble du Plateau du Deccan (sud de l'Inde), en fin juillet et en août. Il y a donc lieu de semer en juin ou au début de juillet pour éviter ces insectes.

Certaines études montrent que la maladie sucrée (sugary disease) attaque davantage les variétés qui fleurissent après le 25 septembre que celles fleurissant avant cette date (dans le centre du Deccan); ainsi, il y a intérêt à semer à une date telle que la floraison se situe avant le 25 septembre, de façon à éviter la maladie.

Les variétés à long cycle peuvent être mises à contribution, leur semis ayant lieu avant qu'*Athe-*

rigona ne pose de problème sérieux, à une date telle qu'elles forment leurs grains et mûrissent après la saison des pluies. Les grains de la plupart des variétés de sorgho s'altèrent par temps humide et pluvieux. Ces altérations se traduisent, au début par l'apparition sur le grain, à l'extrémité le plus souvent, de mouchetures brunes, rouges ou pourpres (selon la couleur de la plante). On trouve parfois à la surface du grain de petites taches noirâtres (*Phoma* sp.). Parfois la totalité du grain noircit (*Curvularia* sp.), ou se couvre d'une moisissure rose (*Fusarium* sp.). A ce moment, la semence a perdu toute valeur. Il faut déterminer la date de semis de façon à ce que la formation des grains et leur maturation aient lieu en dehors des périodes où le mauvais temps humide est probable. Les semis de la saison d'été au Deccan (sud de l'Inde) se font dès que les températures deviennent assez élevées, de la mi-janvier à février. Ces cultures fleurissent à l'époque la plus chaude de l'année et l'irrigation est souvent nécessaire pour obtenir une venue à grains totale.

Lorsque la formation des grains a lieu en période humide, un problème supplémentaire est posé par *Heliothis* (head worm). Ceci concerne particulièrement les panicules ensachées pour la pollinisation. Les vers pullulent rapidement de façon inquiétante et peuvent causer des dommages considérables avant que l'or ne s'aperçoive de quoi que ce soit. Lors des périodes humides et pluvieuses, il vaut mieux retirer les sachets après la floraison. Ceux-ci peuvent être agrafés aux pédoncules pour identifier le croisement et garder trace des informations portées sur le sachet. Les punaises (particulièrement *Calocoris angustatus*) qui attaquent et sucent les grains en cours de formation peuvent aussi causer de gros dégâts au cours des périodes humides et pluvieuses.

Documents pour l'enregistrement des données

Cahiers de champ : Les sélectionneurs utilisent différents cahiers d'enregistrement. L'un des types les plus employés consiste en pages amovibles maintenues par des vis entre deux couvertures. Ces pages peuvent être des cartes d'environ 10 × 15 cm, que l'on peut classer à la fin de chaque campagne. On peut également utiliser, avec ce type de reliure, du papier au format standard de 21 × 28 cm. Cependant, un tel système ne permet pas l'ouverture à plat du registre, de sorte qu'il est difficile de faire coïncider les lignes au milieu de la page, d'une page à l'autre. Dans ce cas les notations sont faci-

litées si les numéros de parcelles sont répétés sur chaque page. Les vis de la reliure gênent pour empiler ces registres ou pour les aligner correctement sur les étagères. Il est également difficile de les étiqueter convenablement au dos pour leur identification sur les rayonnages de classement.

De petits cahiers brochés, de format 10 × 15 cm, tenant dans une poche de tablier, sont très commodes et présentent de nombreux avantages. On les emporte facilement au champ, leurs petites pages sont moins dérangées par le vent que les grandes, et elles sont moins éblouissantes au soleil. Un cahier bien confectionné s'ouvre à plat, de façon à ce que les lignes correspondent d'une page à l'autre, ce qui facilite l'enregistrement et la lecture d'un bord à l'autre du cahier. Colonnes et lignes doivent être imprimées à l'avance. On peut stocker des cahiers brochés de ce genre et y inscrire à la main, par la suite, les numéros de parcelles, les pedigrees, etc. (Planche 13-1). Cependant, si nécessaire, les pedigrees et les numéros de parcelles peuvent être dactylographiés ou ronéotypés sur les pages, celles-ci étant ensuite réunies en cahiers.

Il faut un papier de bonne qualité. En effet, les cahiers de champ ont à supporter de nombreuses manipulations et peuvent être mouillés. Un papier de couleur vert ou bleu clair est plus agréable aux yeux en plein soleil.

Les pages des cahiers les plus petits peuvent passer dans le chariot de machines à écrire standard; elles peuvent aussi être ronéotypées. Le papier doit être assez mince pour permettre de faire plusieurs duplicata au carbone à la machine à écrire. Un papier fort de bonne qualité est en général assez résistant pour supporter le mauvais temps et les manipulations, et assez fin pour permettre les copies au carbone.

Le feuillet que montre la Planche 13-1 présente plusieurs avantages. La distance entre lignes est égale à l'espacement double d'une machine à écrire standard. Les dimensions de la page imprimée (19 × 11 cm pliée ou 22 cm ouverte) sont inférieures à celles du papier standard 20 × 28 cm. On rogne après le brochage. Aucun titre n'est imprimé pour les colonnes, de sorte que ces cahiers peuvent être utilisés pour toutes sortes d'essais. Il est possible d'agrafer ensemble six ou huit pages et de les plier pour en constituer un cahier d'un registre relié. Lorsque les pages sont imprimées ou ronéotypées avant d'être reliées il faut avoir soin de porter les informations correctes à la bonne page. Il est bon d'établir un registre modèle, en assignant à chaque page son numéro de pagination et ses numéros de

parcelles (celui de la première et de la dernière pour chacune des pages), servant de guide pour la frappe des pages ou des stencils.

Les Planches 13-3 et 13-4 montrent des feuillets conçus et imprimés pour un programme de sélection. On a prévu une largeur appropriée pour les colonnes, et les en-têtes des colonnes sont imprimés. Les pedigrees peuvent être dactylographiés sur les feuillets, reliés ou brochés par la suite. Plusieurs difficultés ont été relevées dans l'utilisation de ces feuilles. Elles sont trop grandes pour être d'usage commode au champ et impossibles à adapter au chariot d'une machine à écrire standard sans les plier (ce qui empêche d'en faire des copies carbone). Les colonnes ont souvent servi à autre chose que ce qui avait été prévu, et il aurait donc été préférable de les laisser en blanc. (D'une façon générale l'espace disponible dépasse les besoins, de sorte que la plus grande partie de la page reste inutilisée). C'est la raison qui a fait adopter le plus petit format illustré par la première photographie (Planche 13-1). Noter l'existence de deux formats, l'un pour les essais de rendements et l'autre pour la collection.

Les feuillets présentés par la Planche 13-2 ont été créés pour le programme blé du CIMMYT, au Mexique, et sont compatibles avec le matériel IBM. Ils sont de dimensions réduites, ne sont pas pliés lors du brochage, donc faciles à lire d'un bord à l'autre (aucune discontinuité à l'endroit du pli d'une page à l'autre). La continuité des rangées et des colonnes est soulignée par l'alternance des couleurs. Certaines colonnes ont un en-tête imprimé et d'autres non. Le format s'adapte bien à la machine à écrire. Les registres réunissant ces feuillets peuvent être reliés entre deux couvertures, ou simplement agrafés.

Il paraît préférable de disposer les colonnes de façon à ce que le numéro de la parcelle soit voisin des données à enregistrer; c'est-à-dire que plutôt que d'avoir successivement le numéro de la parcelle, le pedigree, l'origine, la donnée numérique, on trouve, dans l'ordre, l'origine, le pedigree, le numéro de la parcelle, la donnée numérique. L'identification des rangs lors de l'enregistrement des notations est ainsi facilitée.

Les erreurs les plus fréquentes, dans la tenue des cahiers de champ, portent sur les omissions d'indications de localité, d'année, de saison, de dates de semis, de fumure, de traitement insecticide, du plan d'irrigation, de la pluviosité, etc. Il arrive souvent que les en-têtes des colonnes ne figurent qu'à la première page du cahier de champ, de sorte que si celle-ci est perdue, on ne sait plus à quoi se rappor-

tent certaines colonnes des pages suivantes qui deviennent alors totalement inutilisables. Dans certains cas les cycles sont enregistrés sous forme de dates (par exemple 20/9) plutôt qu'en nombre de jours du semis à la floraison (comme 65 jours, etc.). Si la date de semis, ou de levée n'a pas été notée, et est oubliée, il devient impossible de déterminer la longueur du cycle. Il est possible d'utiliser des tampons caoutchouc pour numéroter les en-têtes de colonnes, mais il faut avoir soin d'opérer de façon extrêmement précise. On peut aussi faire usage de machines pour la numérotation des parcelles successives.

Registre des introductions : Il y a lieu de tenir un registre des introductions (Planche 13-4). Les semences arrivent dans des emballages portant des chiffres d'identification (éventuellement de pedigrees) mais en général pas davantage. Le sélectionneur destinataire assigne en général un numéro aux semences qu'il vient de recevoir. Le registre des introductions doit être relié, et assez volumineux pour permettre de 5000 à 10 000 enregistrements. Les en-têtes des colonnes doivent comporter l'adresse de l'expéditeur, ainsi que des observations. Ce registre constitue "l'état signalétique" de toutes les introductions effectuées, y compris l'identification de l'expéditeur. Les sélectionneurs ont souvent à s'y référer. La nomenclature pedigree du sélectionneur réceptionnaire peut différer de celle de l'expéditeur. Il est donc recommandé de se reporter au pedigree original, d'accuser réception des semences, et de se référer aux commentaires sur les variétés, etc.

Enregistrement des expéditions : Les têtes de colonnes de ce registre comprennent la date d'envoi, le pedigree, ainsi que le nom et l'adresse du destinataire. Le sélectionneur peut tirer parti d'un tel registre pour savoir facilement quelles variétés lui sont le plus demandées, et par qui elles le sont. La tenue de fiches indiquant les semences envoyées à tel ou tel destinataire permet souvent d'accélérer les expéditions. Par exemple, si l'on a envoyé des semences à un certain sélectionneur dans un certain pays, et si un autre sélectionneur du même pays souhaite en recevoir aussi, il peut être préférable de répercuter cette demande sur le premier (ce qui évite les délais et les coûts qu'impliquent les régulations phytosanitaires et les transports internationaux).

Les demandes de semences ne sont pas toujours spécifiques—une personne peut désirer des semences de certaines lignées en fonction de certaines caractéristiques. Le registre des expéditions permet d'éviter de renouveler l'envoi de semences identiques, ou d'informer le demandeur qu'un envoi

antérieur de semences répond à ses desiderata. Ce registre constitue aussi un indice d'exécution et peut avoir son utilité dans la recherche d'appuis au programme.

Registre d'inventaire des semences : Certains lots de semences en magasin doivent être renouvelés périodiquement, ceci pour deux raisons essentielles. Le stock peut être épuisé par les demandes, et la viabilité des semences peut diminuer avec le temps. L'enregistrement et la pesée des quantités de semences expédiées règle le premier problème, et le contrôle périodique de la faculté germinative le second. Il n'est sans doute pas nécessaire de contrôler toutes les semences en magasin. Il suffit sans doute de contrôler les lignées de grande valeur agronomique, celles qui représentent une très bonne source de résistance, et celles dont la conservation doit se prolonger longtemps. Il n'est pas nécessaire de vérifier les semences hybrides, celles provenant de la sélection de panicules, de générations en cours de disjonction, etc. La décision d'établir un inventaire et de la tenir à jour est basée sur l'utilité d'un tel inventaire. Cette nécessité existe sans doute, sous une forme ou une autre, dans les programmes de travail de longue durée et fonctionnant bien.

Étiquettes de rangs

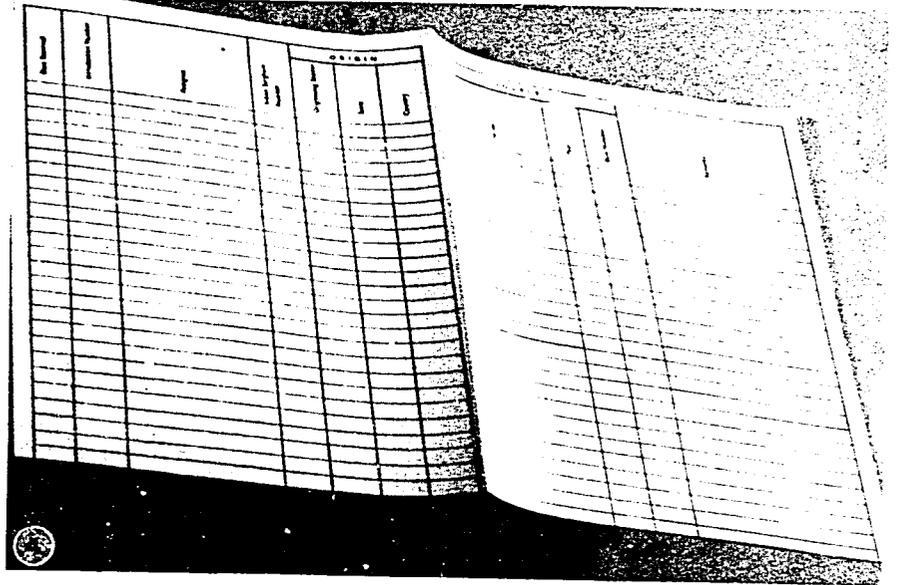
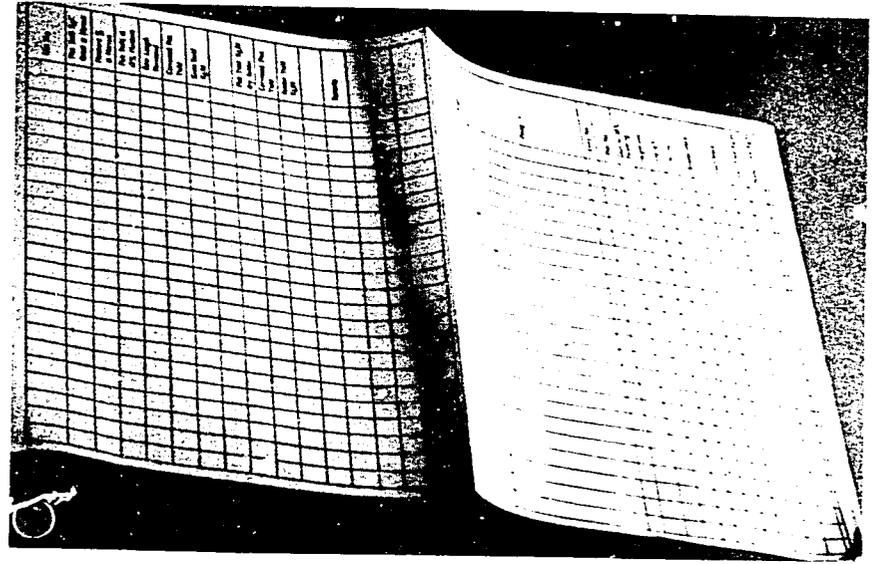
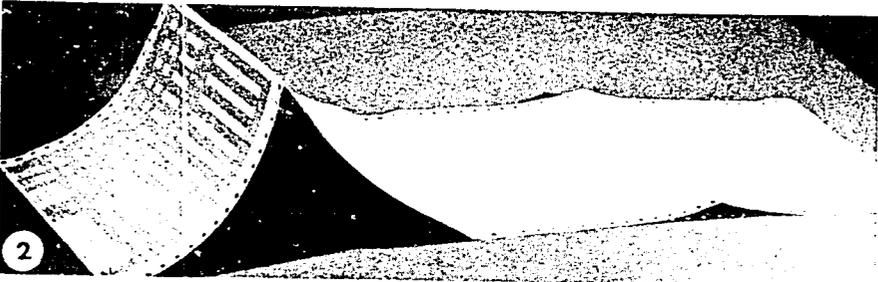
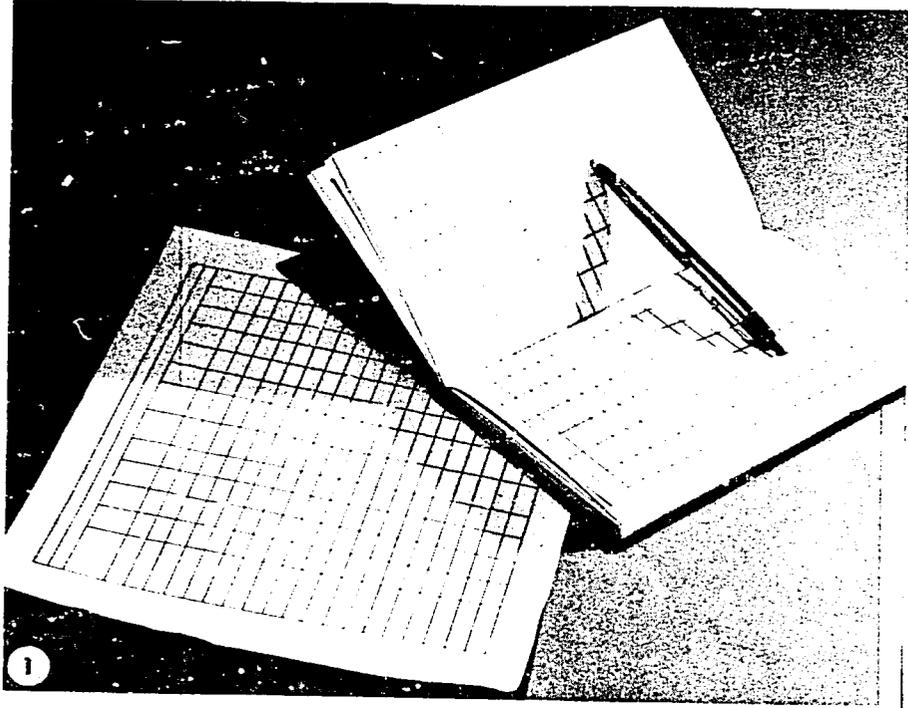
Chaque rang doit être pourvu d'une étiquette aisément localisable. Il est commode de la fixer à un piquet, à hauteur du genou. La médiocrité de l'étiquetage fait perdre du temps et accroît les risques d'erreurs (voir Planche 12, 4-10).

Il est bon que les étiquettes de rangs soient colorées, pour être plus visibles. La couleur jaune, qui contraste bien avec le vert du feuillage, est à conseiller. Ces étiquettes doivent être faites d'un papier solide, apte à résister à l'exposition au mauvais temps. Si l'étiquette est attachée au piquet par une ficelle ou un fil de fer, il y a lieu de la munir d'un oeillet pour éviter qu'elle ne se déchire et soit arrachée lors des tornades.

Les étiquettes ne portant que les numéros des rangs sont agrafées à des piquets en tête de chaque rang. Cette façon d'opérer est très pratique et évite de perdre du temps à chercher les étiquettes. De plus, on peut porter sur ces étiquettes les instructions de pollinisation, puis y noter, au fur et à mesure des progrès du travail, l'indication de ce qui a été réalisé sur le rang chaque jour. Par exemple, l'instruction peut être représentée par O (10) (auto-fécondé 10 plantes). Si trois autofécondations sont

Planche 13. Cahiers de champ

- 13-1 Petit cahier de champ (environ 16 × 11 cm), tenant facilement dans la poche d'un tablier de pollinisateur. Le papier fort de bonne qualité et de dimensions standard (27,5 × 20 cm) porte des lignes imprimées à double intervalle d'une machine à écrire. Les feuillets, une fois dactylographiés peuvent être brochés ou reliés. Un cahier de petit format est de maniement plus aisé par grand vent et moins éblouissant, au grand soleil, que des pages de grand format.
- 13-2 Feuillet de champ utilisables avec un équipement de traitement des données. Les en-têtes des colonnes sont imprimés sur ces feuilles et les colonnes ainsi que les rangées se distinguent par des couleurs contrastantes—ce qui facilite beaucoup la prise de notes. Le papier n'est pas brillant, et de couleurs éteintes (jaune pâle et vert) pour être moins éblouissant au soleil. Ces feuillets sont fixés entre deux couvertures rigides. Les dimensions du registre sont approximativement de 26 × 20 cm.
- 13-3 Feuillet de champ de grandes dimensions (28 × 20 cm une fois pliés) dactylographiés puis brochés. Il se sont révélés trop grands et d'usage malcommode au champ, et ils nécessitent une machine à écrire à grand chariot pour la frappe des pedigrees et des numéros de parcelles.
- 13-4 Feuillet imprimé pour le registre des introductions. Ce format (28 × 20 cm une fois replié) s'est révélé satisfaisant. Les registres ont assez de pages pour environ 5000 introductions et toutes les notations y sont manuscrites. (Lorsqu'un registre est rempli, il est possible de le taper à la machine et de la reproduire en cas de besoin). Les têtes de colonne comprennent : la date de réception, le numéro d'introduction, le pedigree, la station d'origine, l'état, le pays, le nom de l'expéditeur, l'année et le numéro de parcelle (de la collection d'origine) et toutes remarques utiles.



faites le premier jour, l'opérateur tracera trois barres sur l'étiquette : Cinq autofécondations réalisées le lendemain se traduiront par cinq nouvelles barres sur l'étiquette soit un total de huit. Les autofécondations étant achevées le troisième jour, l'instruction sera rayée. Les instructions peuvent aussi se présenter sous la forme illustrée par la Planche 12 (page 120). Il apparaît que le rang 27 doit être croisé avec les rangs 5(3), 9(10) et 3(4) ce qui implique respectivement 3, 10 et 4 croisements. Le pollen du rang 27 doit servir à féconder les rangs 15 et 17 avec respectivement quatre et trois croisements. Une fois les croisements réalisés selon ces instructions, l'étiquette est pliée sur elle-même et maintenue ainsi par un trombone.

Les numéros des parcelles sont inscrits sur les étiquettes ou tamponnés à l'aide d'une machine à numérotter. Ils doivent être portés en haut et en bas et sur chaque face de l'étiquette de façon à rester lisibles même si l'étiquette se trouve détériorée d'un côté et que l'on puisse retrouver le numéro sans avoir à la retourner. A la récolte on déchire l'étiquette en deux, la partie inférieure est alors placée dans le sac utilisé pour la récolte pour permettre son identification même au cas où l'étiquette à l'extérieur du sac serait arrachée.

Cabane de terrain

Durant la campagne, on a constamment besoin, au champ, de quantités d'outils, de sachets, de matériel de castration, de tabliers de pollinisateurs, etc. Une cabane, du type illustré par la Planche 14, convient parfaitement au rangement de ce matériel (c'est aussi un bon abri contre les ondées).

Elle est munie d'étagères pour le rangement d'articles tels que les sachets, de tiroirs pour les petits objets comme les agrafes, les trombones, les crayons à marquer, etc., et de larges fenêtres dont l'ouverture permet son refroidissement et facilite la manutention des objets entreposés. On doit pouvoir la verrouiller la nuit et en fin de campagne la transporter sous un hangar, ou l'installer près d'un autre champ.

Une petite cabane de terrain de ce genre économe beaucoup de temps et d'efforts qui seraient autrement perdus à des transports quotidiens de matériel dans un sens et dans l'autre et facilite le maintien d'un stock convenable d'articles d'usage courant. Pour un programme de grande dimension, ou portant sur des champs très dispersés, il peut même en falloir plusieurs (à peu près une cabane pour 3 à 4 ha d'expérimentation).

Bibliographie

- Atkins, R.E. 1971. Special report, symbolic designations of sorghum populations. *Sorghum Newsletter* 14:121-122.
- Doggett, H. 1972. The improvement of sorghum in East Africa. Pages 47-59 in *Sorghum in seventies* (éd. N.G.P. Rao et L.R. House). New Delhi, Inde : Oxford & IBH.
- Doggett, H., et Eberhart, S.A. 1968. Recurrent selection in sorghum. *Crop Science* 8(1):119-121.
- Eberhart, S.A. 1970. Factors affecting efficiencies of breeding methods. (fr. et ang.) *African Soils/Sols africains* 14(1-2-3).
- Eberhart, S.A. 1972. Techniques and methods for more efficient population improvement in sorghum. Pages 197-213 in *Sorghum in seventies* (éd. N.G.P. Rao et L.R. House). New Delhi, Inde : Oxford & IBH.
- Futrell, M.C., et Webster, O.J. 1966a. Races of sorghums resistant to sooty stripe disease. *Plant Disease Reporter* 50(8):606-608.
- Futrell, M.C., et Webster, O.J. 1966b. New sources of resistance to the downy mildew disease of sorghum. *Plant Disease Reporter* 50(9):641-644.
- Gardner, C.O. 1972. Development of superior populations of sorghum and their role in breeding programs. Pages 180-196 in *Sorghum in seventies* (éd. N.G.P. Rao et L.R. House). New Delhi, Inde: Oxford & IBH.
- Lonnquist, J.H. 1964. A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. *Crop Science* 4(2):227-228.
- Maiti, R.K., Raju, P.S., et Bidinger, F.R. 1981. Evaluation of visual scoring for seedling vigor in sorghum. *Seed Science and Technology* 9:613-622.
- Moll, R.H., et Robinson, H.F. 1966. Observed and expected response in four selection experiments in maize. *Crop Science* 6(4):319-324.
- Murty, B.R., Arunachalam, V., et Saxena, M.B.L. 1967. Classification and catalogue of world collection of sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 27(Special No.):1-74.
- Murty, D.S., Rao, K.N., et House, L.R. 1980. Breeding for grain mold resistant sorghums at ICRISAT. Pages 154-163 in *Sorghum Diseases, A World Review: Proceedings of the International Workshop on Sorghum Diseases, 11-15 Dec 1978, Hyderabad, India*. Patancheru, A.P. 502 324, Inde : ICRISAT.

Murty, D.S., Patil, H.D., et House, L.R. 1982. Sorghum Roti: II. Genotypic and environmental variation for roti quality parameters. Pages 79-81 in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, ICRISAT Center, India. Patancheru, A.P. 502324, Inde: ICRISAT

Murty, D.S., et Subramanian, V. 1982. Sorghum Roti: I. Traditional methods of consumption and standard procedures for evaluation. Pages 73-78 in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 Oct 1981, ICRISAT Center, India. Patancheru, A.P. 502324, Inde : ICRISAT.

Schertz, K.F., et Clark, L.E. 1967. Controlling dehiscence with plastic bags for hand crosses in sorghum. *Crop Science* 7(5):540-542.

Stephens J.C., et Quinby, J.R. 1933. Bulk emasculation of sorghum flowers. *Journal of American Society of Agronomy* 25(3):233-234.

Tarumoto, I., Miyazaki, M., et Masumara, T. 1981. Scanning electron microscopic study of the surfaces of glossy and nonglossy leaves of sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Bulletin of the National Grass Research Institute* 18:38-42.

Webel, O.D., et Lonquist, J.H. 1967. An evaluation of modified ear-to-row selection in a population of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science* 7(6):651-655.

Cinquième partie

L'industrie semencière

Son rôle, son organisation et son développement

Les conditions de culture du sorgho sont très souvent défavorables; or les hybrides dans ces cas-là, se révèlent fréquemment plus productifs et plus stables que les variétés ordinairement cultivées. Cependant, le problème de la production des semences d'hybrides demeure l'un des principaux facteurs limitants de leur utilisation.

Traditionnellement, les Services de l'Agriculture produisent et distribuent des semences aux paysans; ces semences peuvent être produites soit sur les stations de recherche (comme tâche supplémentaire du sélectionneur) soit sur des exploitations agricoles spécialement organisées à cette fin par le Service.

L'opération est relativement simple et directe, réclamant une participation relativement peu importante du Service.

En dehors de leur obligation annuelle de fournir des semences, les unités de production de semences traditionnelles ne sont aucunement concernées par ce qui arrive effectivement aux semences semées par les paysans. De nombreux cultivateurs conservent leurs propres semences—périodiquement achetées à un service extérieur—et de nombreux autres les achètent à des voisins ou sur le marché local. Aucun contrôle de la qualité n'est assuré et les semences en tant que telles peuvent se révéler de qualité très médiocre.

Le sélectionneur de sorgho doit s'intéresser à l'utilisation de ses hybrides par les paysans. A première vue, il peut apparaître simple de produire et de distribuer des semences d'hybrides de la même manière que pour les variétés. La situation est en fait beaucoup plus compliquée—réclamant une étude sérieuse et des consultations. La production et la commercialisation des semences d'hybrides peuvent servir de base à la création d'une industrie avec contrôle de la qualité et vulgarisation.

En cas de réussite, la possibilité de disposer en permanence de semences de qualité peut se révéler un atout important pour la modernisation de l'agriculture traditionnelle.

Ce chapitre n'est pas une description détaillée de la création d'une industrie semencière. Son principal objectif est de mettre en évidence la nature et la complexité de cette création—afin de rendre les sélectionneurs chargés de l'amélioration du sorgho plus conscients de ce que cela peut impliquer. L'Annexe 1 fournit des informations supplémentaires sur le développement d'une industrie des semences.

Au cours des années 1960, le personnel sur le terrain de l'Indian Agricultural Program de la Fondation Rockefeller a contribué au développement d'une industrie semencière en Inde. Un certain nombre des documents relatifs à ce projet ont été adaptés pour être introduits dans ce chapitre; nous devons en remercier les auteurs Johnson E. Douglas, Wayne H. Freeman, et Guy B. Baird. Les documents originaux préparés en nombre limité dans un but spécifique ne sont plus disponibles.

Le rôle d'une industrie semencière bien organisée

D'après l'étude du Dr Guy B. Baird

Sélectionneurs des plantes et spécialistes en agromonie ont mis au point pour les principales céréales des variétés ou des hybrides à haut rendement bien adaptés. Ces lignées améliorées ont puissamment contribué à l'accroissement de la production des céréales en Inde. La poursuite de cette contribution dépendra d'un approvisionnement suffisant des cultivateurs en semences de bonne qualité. Une industrie semencière bien organisée est indispensable pour que ces conditions soient remplies.

L'industrie semencière est un des aspects clefs de l'agriculture moderne. Pour obtenir et maintenir des rendements agricoles élevés le paysan efficace doit utiliser des semences à potentiel de rendement élevé et modifier le milieu de culture pour le rendre plus favorable. Le paysan moderne modifie le milieu de croissance de ses cultures grâce à l'emploi de l'équipement et du matériel des diverses branches de l'industrie agricole : par exemple, les tracteurs, le matériel amélioré de travail du sol, les engrais, les pesticides et les insecticides. Celui-ci peut également modifier le milieu en recourant à des techniques telles le drainage et l'irrigation permettant de fournir aux cultures à haut rendement des conditions d'humidité du sol optimales.

Qu'est-ce qu'une industrie semencière?

Une industrie semencière répond aux besoins en semences des paysans et est composée de cultivateurs, de producteurs, d'industriels et de distributeurs indépendants. Pour être efficace et compétitive une seule entreprise peut combiner toutes ces fonctions en une seule. Ainsi, l'industrie des semences de maïs hybride aux Etats-Unis a produit plus de 350 000 tonnes de semences pour une plantation annuelle de plus de 32 millions d'hectares de terres.

Bien que basée sur les résultats de recherches effectuées sur les stations expérimentales fédérales et des états, cette industrie n'était pas planifiée. Elle était composée de plus de 500 producteurs, produisant des semences sur des exploitations de 2 à 400

ha ou plus. D'embryonnaire en 1930, cette industrie s'est développée pour assurer l'approvisionnement dix ans plus tard de 50% des surfaces sous maïs et de nos jours de 100% des surfaces cultivées. Les producteurs vendent directement aux cultivateurs sans passer par les circuits gouvernementaux. Les semences sont produites, séchées, décortiquées, nettoyées, calibrées, traitées et stockées aux frais du producteur. Les profits réalisés au cours des dix premières années ont permis à un nombre important d'entreprises semencières de développer leur propre programme de recherche en vrai grandeur, l'accent étant mis sur la satisfaction des besoins des consommateurs.

Dans ce cadre souple, les sociétés ont pu accroître les surfaces sous sorgho aux Etats-Unis; d'aucune surface plantée avec des semences hybrides en 1954 on est passé à 100% en 1960.

Il paraît donc qu'un système de production semencière privé relativement libre a permis de répondre à la demande de semences de qualité. S'il repose sur des bases saines, un système de production semencière doit pouvoir fournir suffisamment de semences pendant la période transitoire pour passer pour la production et la distribution du secteur public au secteur privé.

Les semences en agriculture traditionnelle

En agriculture traditionnelle le cultivateur peut être largement indépendant en ce qui concerne ses facteurs de production. Sa famille et lui-même, ses animaux de ferme lui fournissent (directement ou indirectement) la plupart de ce dont il a besoin pour ses travaux d'exploitation. Ceci s'applique aussi bien aux semences qu'aux engrais, aux outils agricoles et à la lutte contre les adventices. Mais le cultivateur traditionnel est incapable de faire face aux maladies et aux insectes nuisibles qui alors peuvent lui faire payer un lourd tribut.

En agriculture traditionnelle, les semences font généralement partie de l'ensemble de la production d'une ferme. Normalement, aucune plantation n'a pour but la production spécifique de semences. Dans certains cas, le cultivateur peut pratiquer dans sa production globale une sélection limitée pour

obtenir un type désiré ou une qualité améliorée. Il est possible que pendant un certain temps, les bons cultivateurs recourant consciencieusement à la sélection dans leur propre production de matériel pour leurs semences, améliorent nettement leur qualité et leur potentiel de rendement. En général, cependant, les possibilités d'amélioration des cultures dans ces conditions s'avèrent très réduites.

Le paysan traditionnel est limité dans sa capacité à progresser dans son opération d'amélioration de ses cultures tant du point de vue de la constitution génétique de sa culture que de son aptitude à modifier le milieu de culture. Typiquement, le potentiel de rendement de sa culture est assez faible, celle-ci ayant été cultivée pendant de nombreuses générations dans des conditions peu favorables à des rendements en grains élevés. Par sélection naturelle et délibérée, ce sont les lignées capables de bien se développer dans les conditions d'une agriculture traditionnelle qui ont subsisté. La variabilité génétique est devenue tout à fait réduite et les possibilités d'une amélioration substantielle restreintes. Avec ce type de matériel génétique (variétés) l'incitation à modifier le milieu de culture pour le rendre plus favorable à l'obtention de rendements élevés est limitée. L'emploi des engrais chimiques, de l'irrigation et autres pratiques d'exploitation améliorées, peut également apparaître peu attrayant vu leurs rentabilités insuffisantes.

Les semences en agriculture moderne

Le sélectionneur, avec l'aide de son compagnon l'agronome, peut mettre au point de nouvelles variétés ou lignées possédant une capacité ou un potentiel de rendement élevé. Il peut également introduire dans celles-ci de nouveaux facteurs concernant la qualité des grains et la résistance aux insectes nuisibles et aux maladies. Ainsi, les agronomes peuvent fournir aux paysans des cultures améliorées leur permettant de passer d'une agriculture traditionnelle à une agriculture moderne. Avec ces cultures améliorées, le cultivateur adepte du progrès découvrira qu'il peut être rentable d'utiliser d'autres intrants de l'agriculture moderne, dont les engrais, un meilleur matériel agricole, un meilleur aménagement et une meilleure utilisation rationnelle du sol et de l'eau ainsi que de meilleures techniques culturales.

Mais qu'en est-il des semences concernant ces cultures améliorées, le paysan sera-t-il capable de produire ses propres semences de façon traditionnelle?

En théorie oui, mais celui-ci peut pour plusieurs raisons, constater que cette opération est irréalisable. Pour le cas des hybrides, les exigences de la production, telles l'isolement des plantes, l'expérience et l'attention à apporter aux cultures, deviennent prohibitivement onéreuses et inefficaces pour le cultivateur propre producteur de ses semences. Concernant les cultures autogames améliorées, celui-ci peut considérer satisfaisant de prélever ses semences sur sa récolte régulière. Dans ces cas-là, cependant, il risque de constater l'apparition de mélanges au bout de plusieurs campagnes, et désirer alors se réapprovisionner en semences avec des souches de grande pureté génétique. De plus, il désirera remplacer la variété qu'il utilise par une plus récente lorsque des meilleures variétés auront été mises au point.

Il est clair que le cultivateur dans une agriculture moderne doit pouvoir avoir accès aux semences d'hybrides et de variétés à haut rendement. Le problème qui se pose donc est de savoir comment lui fournir ces semences.

Production de semences

De nos jours la production des semences est une industrie spécialisée indispensable. Elle est comparable à la production des engrais ou des pesticides, à la fabrication des outils agricoles et du matériel de transformation des récoltes, et à la mise au point et à la production des herbicides. Pour chacune de ces industries, les spécialistes fournissent au paysan les intrants nécessaires à une production vivrière soutenue de haut niveau, en contraste marqué avec l'agriculture traditionnelle où le cultivateur satisfait la plupart de ses besoins sur son exploitation.

L'industrie semencière est constituée de plusieurs composantes, dont la recherche, la production, le contrôle de la qualité et la commercialisation. Elle concerne comme d'autres industries, les secteurs privés et publics.

Recherche

Les semences améliorées sont le résultat de recherches. Les agronomes collectent le germoplasme des plantes cultivées pour obtenir la plus grande variabilité possible.

Ces collections sont évaluées et des combinaisons ou des croisements réalisés pour obtenir de nouvelles souches possédant les caractéristiques

désirées. Les souches prometteuses sont testées dans les zones d'utilisations possibles. La nouvelle souche mise au point, se comportant assez bien pour être utilisée par les cultivateurs, est alors proposée pour diffusion par l'obteneur. La petite quantité de semences de la nouvelle souche (ou des lignées entrant dans le nouvel hybride) constitue les semences de pré-base.

Parallèlement à la mise au point de ces nouvelles souches, la recherche d'appui montre comment gérer la souche pour capitaliser sur son potentiel de rendement. Ce type de recherche comprend, généralement, la lutte contre les insectes nuisibles et les maladies, plus les besoins en engrais et en eau.

Production

Après la création d'une nouvelle souche, il faut procéder à la multiplication des semences de pré-base (existant en petite quantité) en vue de leur achat par les paysans. Des organisations de production des semences s'avèrent donc nécessaires.

Le premier stade est la production des semences de base. Celle-ci exige un niveau de compétence assez élevé pour satisfaire aux besoins d'une production de qualité. Ces semences sont utilisées pour la production des semences commerciales destinées aux cultivateurs.

La production des semences commerciales est une opération spécialisée réclamant un niveau de compétence supérieur à celui du paysan moyen. Les producteurs de ces semences sont des spécialistes aptes à produire des produits sûrs et de qualité.

Contrôle de la qualité

Le paysan désirant acheter des semences améliorées peut constater qu'il lui est possible de s'en procurer à diverses sources. Il est important qu'il puisse facilement disposer d'informations lui permettant de juger de la qualité des semences. La législation semencière et les agences de contrôle des semences existent pour que les semences diffusées sur le marché répondent à certaines normes de qualité. Cette législation et ces agences rendent difficile ou hasardeuse la commercialisation sur le marché de semences de qualité inférieure. Elles protègent le paysan et permettent le développement d'une industrie semencière dont le premier produit est la semence de qualité.

La certification des semences est en général un auxiliaire important de l'industrie semencière. Cette opération, normalement volontaire, met l'accent sur la pureté génétique des semences et autres considérations de qualité. La semence certifiée, ou son équivalent, est une semence à prime, méritant et commandant un prix supérieur sur le marché des semences.

Commercialisation

Le transfert des semences du producteur au cultivateur (c'est-à-dire la commercialisation des semences) est un maillon vital de l'industrie semencière. La commercialisation peut être une opération relativement simple par laquelle le cultivateur achète directement les semences au producteur. Cette opération est cependant souvent plus complexe. Un producteur indépendant de semences peut avoir produit des semences par contrat avec une société mère ou un organisme. Ce dernier peut produire des semences dans plusieurs régions d'un état ou dans plusieurs états. Le marché de la société peut couvrir tout un état ou l'ensemble du pays. Le cultivateur peut acheter des semences à cette société par l'intermédiaire de l'un de ses circuits commerciaux pour lequel les semences peuvent ne représenter qu'un produit parmi d'autres. Dans tous les cas, cependant, une commercialisation efficace sous-entend des semences rapidement disponibles pour le cultivateur.

Tout cela peut paraître évident, mais il faut néanmoins que le paysan soit pénétré de l'importance des semences améliorées en tant que facteur de production clef de l'agriculture moderne. Celui-ci doit être convaincu que ces semences améliorées peuvent, bien utilisées, constituer un investissement rentable, d'où l'importance de la vulgarisation agricole ou de l'éducation des paysans.

Organisation de l'industrie

L'industrie semencière comporte plusieurs composantes distinctes mais étroitement liées entre elles : la recherche, la production, le contrôle de la qualité et la commercialisation. Dans une industrie semencière bien organisée, chaque composante doit recevoir une attention particulière, et toutes les composantes être reliées entre elles et bien intégrées.

Tant le secteur public que le secteur privé ont un rôle important à jouer dans l'industrie semencière.

Evidemment, les organismes du secteur public sont directement concernés par l'élaboration et le maintien des normes de qualité, par la commercialisation inter-états et par l'éducation des cultivateurs. La recherche est également une importante fonction des organismes agricoles centraux et des états. Cependant, tant les organismes du secteur public que ceux du secteur privé concernés par les semences peuvent être impliqués dans la recherche, l'éducation des cultivateurs, la production des semences de base, la production des semences certifiées et des semences commerciales ainsi que dans la commercialisation. L'important semble être la création de conditions et d'un climat favorables à la production et l'utilisation des semences de qualité à haut rendement.

La réalisation de cet objectif exige d'étroits rapports de travail et une bonne compréhension entre organismes du secteur public et du secteur privé.

En très peu de temps, l'Inde a réalisé des progrès remarquables dans le développement d'une industrie semencière bien organisée. Grâce à la recherche, des souches hautement productives de toutes les céréales principales ont été placées à la disposition des cultivateurs. La National Seeds Corporation a su exploiter ces secteurs de la recherche en organisant la production des semences de base nécessaires. Elle a également joué un rôle beaucoup plus large dans le développement de l'industrie semencière indienne. Ainsi, elle a encouragé les producteurs de semences commerciales et certifiées, a formé le personnel de production et de certification des semences, et a agi en tant qu'agence de certification jusqu'à la création d'agences de certification gouvernementales. Une loi sur les semences a été promulguée et l'Indian Crop Improvement and Certified Seed Producers Association créée.

Programme de production et de distribution de semences de qualité

D'après l'étude de Johnson E. Douglas

L'objectif premier d'un programme semencier est la production de semences de qualité. Une loi sur les semences prévoyant un programme d'application de la législation semencière, et un programme détaillé et complet de certification des semences concernant les variétés et les hybrides améliorés, encouragera grandement l'augmentation du volume des semences de qualité disponibles pour le cultivateur.

Chaque pays doit s'assurer que les possibilités de production et de distribution sont suffisantes dans toute la zone de production d'une culture. Des plans doivent être élaborés pour obtenir une efficacité maximum des agences gouvernementales ou non. Leurs fonctions doivent être complémentaires afin qu'une quantité maximum de semences de qualité puisse parvenir jusqu'au cultivateur. A la réunion FAO en 1962 du Comité technique sur la production, le contrôle, et la distribution des semences, il a été établi en conclusion que :

"L'on a estimé que, dans les pays en voie de développement, la production et la distribution des semences devraient être progressivement assurées par des agences non gouvernementales telles les coopératives de semences, les associations de cultivateurs de semences et les entreprises privées; à condition que puisse être maintenu un contrôle de la qualité satisfaisant".

Une commission a été nommée en Inde en 1960 pour l'élaboration d'un projet de plan pour une organisation assurant la multiplication et la distribution rapides aux cultivateurs de semences sûres, et de qualité, d'hybrides de maïs améliorés (et ensuite d'autres cultures). Ce projet établissait en cinq points les principes d'une bonne organisation d'un programme semencier.

1. L'organisation de la production des semences de base doit être mise au point. En raison des exigences de la qualité, et l'approvisionnement en semences de base étant en réalité une entreprise de service, les organisations responsables doivent être étroitement guidées par les sélectionneurs et les spécialistes des semences pour la vulgarisation; celles-ci devraient probablement

toujours être des agences de la National Seeds Corporation couvrant leurs frais.

2. Une industrie semencière, appartenant au secteur privé, et stimulée par la compétition et le profit, doit être développée pour la production, le conditionnement et la commercialisation des semences d'hybrides de maïs doubles ainsi que d'hybrides et de variétés améliorés d'autres cultures.
3. Des agences indépendantes de certification des semences doivent être créées, sans contrôle direct du gouvernement, des organismes de semences de base et de l'industrie semencière privée.
4. Une législation semencière doit être promulguée et des agences d'application des lois des états doivent être créées.
5. Un programme énergique d'éducation et de démonstration sur l'utilisation des hybrides de maïs et d'autres semences améliorées doit être réalisé avec l'aide des spécialistes des semences pour la vulgarisation au plan de l'état, du district et du bloc, ayant pour tâche principale l'amélioration des semences.

Une action doit être entreprise dans un certain nombre de domaines pour la mise en oeuvre d'un programme de ce type. L'accent doit être mis sur la phase production et distribution du programme. Certaines conditions fondamentales doivent être satisfaites pour que puisse se développer cette section du programme avec les encouragements du gouvernement mais sans sa participation effective. On peut citer :

- Des variétés et des hybrides de qualité supérieure disponibles pour la multiplication.
- Des centaines de producteurs et de négociants en semences apprenant les nouvelles pratiques et développant de nouveaux concepts de "bonnes semences".
- Des capitaux supplémentaires disponibles pour la production, le conditionnement, le stockage et la distribution des semences.
- La production et la vente de semences de bonne qualité.
- Un équipement spécial pour les producteurs et

- les négociants leur permettant la production d'un produit de qualité.
- Un programme d'éducation dynamique pour les producteurs et les négociants en semences ainsi que pour les agences gouvernementales concernées.
- Des possibilités de développement pour de nombreuses entreprises semencières privées.
- Des motivations suffisantes dans le programme pour que des particuliers ou des entreprises prennent le risque de se lancer dans ce domaine d'affaire.
- Des personnes sincèrement intéressées par la vente de semences de qualité et d'une très grande intégrité.

Mise en oeuvre de ces conditions fondamentales

Il est nécessaire d'analyser les différents stades du processus de multiplication des semences pour pouvoir utiliser et améliorer toutes les ressources disponibles et mettre en application les conditions fondamentales définies ci-dessus.

Semences de pré-base : les divers organismes et organisations impliqués dans les programmes de sélection d'un pays ont des responsabilités particulières en plus de celles de créer des variétés et des hybrides améliorés. Ce sont de :

- Recommander les variétés et hybrides améliorés pour la diffusion.
- Fournir des descriptions générales et morphologiques des variétés et hybrides diffusés.
- Maintenir des stocks suffisants de semences pures des variétés et hybrides diffusés afin que le programme de multiplication puisse disposer d'un approvisionnement constant en semences sûres (semences de pré-base).
- Prêter assistance au personnel du contrôle de la certification des semences pour leur formation afin qu'il puisse faire preuve de compétence dans leur tâche d'identification des variétés et des hybrides améliorés dans le cadre du programme de multiplication des semences.

Semences de base : La production des semences de base est une étape à mi-chemin entre le sélectionneur et le producteur de semences commerciales. L'agence pour la conservation des semences de base se procure périodiquement des semences de pré-base auprès de l'organisme de recherche,

les multiplie (en général sous certification) et vend les semences de base produites aux producteurs de semences commerciales. S'il n'est pas nécessaire que l'agence pour la conservation des semences de base sème chaque champ avec les semences de pré-base, il est indispensable qu'elle recoure périodiquement aux obtenteurs (afin de maintenir la pureté et le type des semences de base).

Semences certifiées de première reproduction (R1) : Les semences de base des cultures auto-pollinisées produites par l'intermédiaire de l'agence pour la conservation des semences de base peuvent être multipliées ensuite comme semences certifiées de première reproduction (R1) sur des fermes d'état par des cultivateurs de semences ayant passé un contrat avec le Service de l'Agriculture ou par des producteurs privés projetant de multiplier les semences certifiées (R1) jusqu'au stade suivant des semences certifiées de deuxième reproduction pour la distribution (Fig. 5.1).

Dans cet exemple, le Service de l'Agriculture assure la responsabilité de trouver les individus, organismes, coopératives et autres susceptibles d'accepter d'acheter les semences certifiées (R1) et de les multiplier pour la production et la distribution aux cultivateurs d'une quantité importante de semences certifiées de seconde reproduction (R2). Au fur et à mesure du développement du programme, le Service favorisera un accroissement continu du nombre de tels particuliers et de telles entreprises sur lesquels il s'appuiera pour la réalisation de cette étape finale de la multiplication. Les particuliers et les entreprises achètent chaque année des semences certifiées (R1) ou des semences de base pour multiplication en vue de la production de semences certifiées de deuxième reproduction (R2) en quantités suffisantes. Ces particuliers et ces entreprises doivent être encouragés, de toutes les façons possibles, à assurer la responsabilité de leurs propres ventes et distributions.

Dans le cas des semences hybrides, les semences de base sont utilisées pour la production des semences certifiées (R2) (Fig. 5.2). Les semences de base sont cependant vendues aux particuliers, organismes, coopératives et autres ayant décidé de s'intéresser à la production des semences hybrides.

Aucune subvention n'apparaît nécessaire puisque toutes les semences sont fournies à des producteurs indépendants et à des entreprises qualifiées intéressés par et capables de les multiplier. Celles-ci leur sont vendues à un prix permettant de couvrir le prix de production et incluant une marge de bénéfice raisonnable pour le programme de multiplication des semences certifiées (R1) ou de

base. Le Service de l'Agriculture ne doit supporter aucune perte à long terme. Un investissement initial pour l'amélioration des installations est évidemment nécessaire.

Graines certifiées de seconde reproduction (R2) : Le premier principe de toute production des semences de pré-base, de base et certifiées (1ère et 2ème reproduction) doit être la qualité. Tous les stades de la multiplication des semences doivent répondre à certaines normes fondamentales de certification des semences (Fig. 5.3). Des semences de bonne qualité des variétés et des hybrides améliorés deviennent doublement importantes au stade final des semences certifiées R2, car c'est alors que le cultivateur doit être assuré d'acheter des semences productives et rentables.

Cette étape du travail de multiplication et de dis-

tribution des semences doit rester ouverte à la participation de nombreuses individus et groupes différents. Les possibilités de diversité et donc de compétition peuvent permettre la réalisation d'un programme efficace orienté vers la qualité (Fig. 5.3 et 5.4).

Ce sont les ressources disponibles dans chaque district, province, état, etc., qui détermineront la forme définitive d'un programme de multiplication et de distribution des semences certifiées.

Tout un éventail de coopératives, producteurs de semences, négociants en semences, organismes locaux et villages semenciers doivent jouer un rôle. Dans certaines régions un ou deux de ces groupes peuvent avoir un rôle de leader, alors que dans d'autres le succès du programme dépendra de tous.

Indépendamment du groupe ou de la combinai-

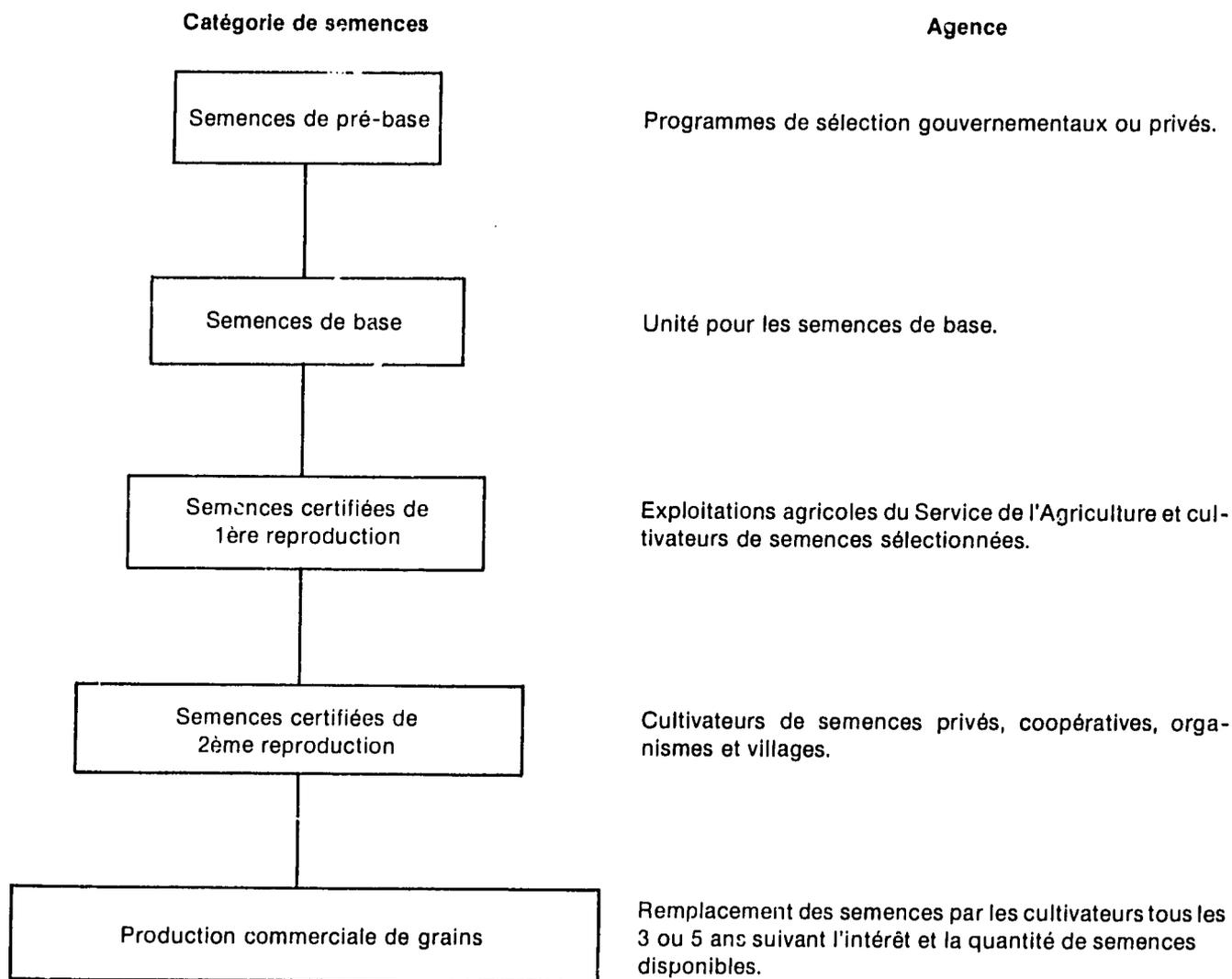


Figure 5.1: Production et distribution des semences certifiées de seconde reproduction (R2) de cultures autofécondées.

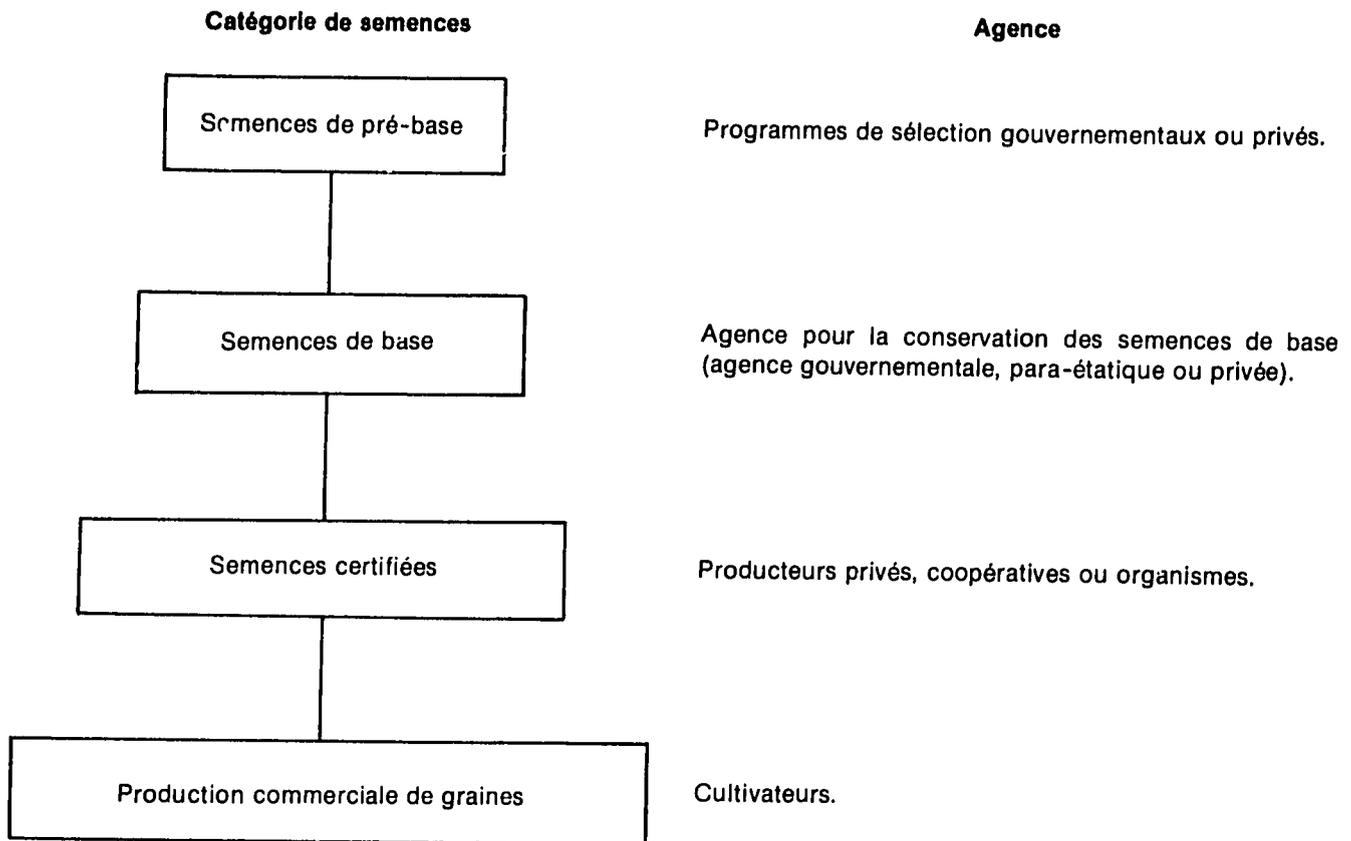


Figure 5.2: Production et distribution des semences hybrides certifiées.

son des groupes concernés dans une région donnée, trois opérations composent l'ensemble de cette tâche (Fig. 5.4). Ce sont :

- la culture des semences;
- le conditionnement, le stockage et la distribution des semences en gros; et
- la distribution des semences au détail.

Les entreprises individuelles et les organisations concernées par ce programme peuvent remplir l'une ou l'ensemble de ces activités. La clef du succès est la souplesse des diverses approches d'une région à l'autre, permettant que le programme ne soit lié à aucune technique particulière. L'approche utilisée doit dépendre des ressources locales disponibles. Quelque soit la méthode de production utilisée, la législation semencière (soit le programme de production semencière libre, soit la production réglementée) assurera la bonne qualité des semences.

Tout programme d'individus concerné par la production et la distribution des semences doit élaborer un programme basé sur des principes sains. Une bonne semence est un facteur de pro-

duction agricole fondamentale se révélant rémunérateur si le programme est établi sur une base solide et présente des possibilités de développement futur.

Aspects de la multiplication et de la distribution des semences

Culture des semences (Fig. 5.5) : Il devra y avoir dans un pays un nombre important de cultivateurs de semences. Ceux-ci doivent cependant demeurer quelque temps dans le programme afin de pouvoir y acquérir l'expérience nécessaire leur permettant de mener leur propre action plutôt que de dépendre du personnel du développement des semences et du Service de l'Agriculture. Avant la plantation, le cultivateur de semences doit établir un plan pour le conditionnement, la vente et la distribution de ses semences. Il sera généralement profitable que ces cultivateurs de semences soient installés dans les zones proches des centres de conditionnement.

Il est possible que certains cultivateurs de semences désirent tout réaliser eux-mêmes, en particulier, en ce qui concerne de nombreux producteurs de

semences hybrides. La majorité d'entre eux, cependant, trouvera avantageux de travailler sous contrat pour la distribution et la cession de leurs semences. Ce contrat doit alors être conclu avec une coopérative, un producteur de semences ou une entreprise locale capable d'effectuer le conditionnement, la vente et la distribution des semences. Le personnel pour le développement des semences du Service de l'Agriculture ou le personnel de terrain de l'Unité pour les Semences de base doit s'assurer de la réalisation complète de cette phase du programme avant que les semences de base ou les semences certifiées de 1ère reproduction ne soient vendues aux cultivateurs de semences pour leur multiplication.

Conditionnement des semences : L'installation d'unités de conditionnement des semences dans

tout le pays est indispensable. Ces unités peuvent être dirigées par :

- de bonnes coopératives, désirant agir comme grossistes dans le cadre du programme semencier;
- des entreprises privées travaillant dans la région;
- des négociants en semences légumières, actuels ou futurs, intéressés par l'expansion de leurs programmes.

Ces unités peuvent jouer le rôle d'entrepreneurs pour les cultivateurs de semences et d'acheteurs en gros et de points de collecte pour les semences certifiées (R2). Ils développeront aussi probablement leurs propres débouchés pour les semences de détail et de gros. On peut encourager ces unités en

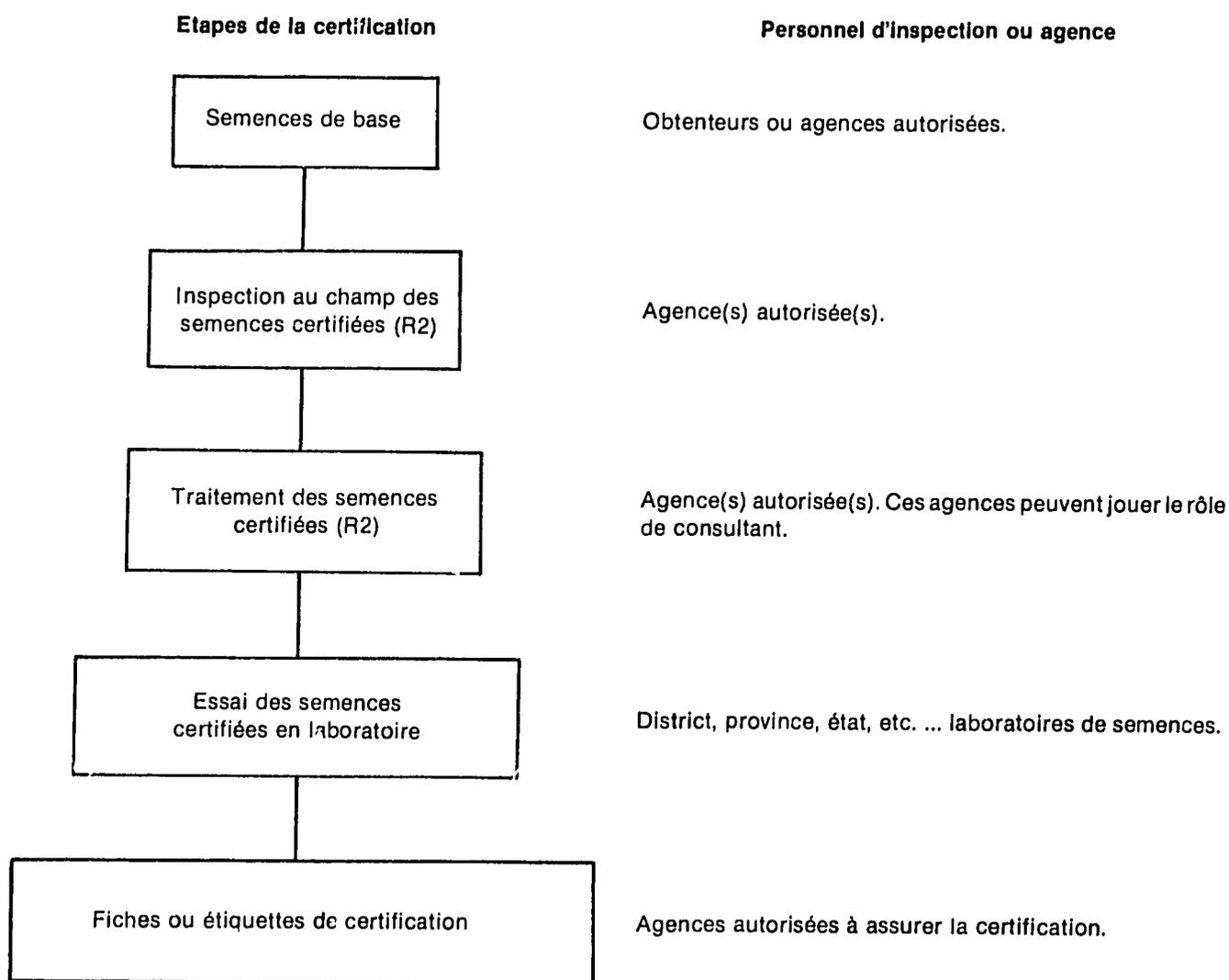
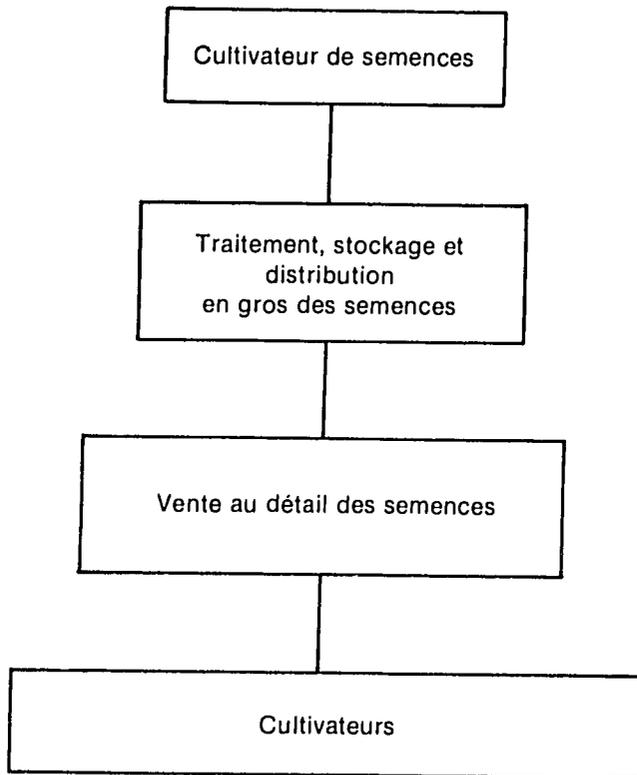


Figure 5.3: Certification de la production des semences.

Traitement et distribution des semences

Agence



Les producteurs de semences, coopératives, organismes, villages et autres peuvent remplir l'une, un certain nombre ou l'ensemble de ces tâches. La méthode utilisée devra être souple pour être mieux adaptée aux ressources et aux besoins locaux.

Figure 5.4: Processus de multiplication et de distribution des semences.

mettant à leur disposition des crédits suffisants pour leur permettre de développer leurs installations de traitements et de stockage des semences.

Le personnel pour le développement des semences peut aider à reconnaître les individus et les entreprises susceptibles de réaliser ce travail et leur donner les conseils techniques nécessaires. Ils peuvent également encourager de bonnes relations de travail entre les cultivateurs de semences et les centres de conditionnement.

Distribution des semences au détail : Des efforts doivent être faits pour trouver de nombreux débouchés pour la vente des semences certifiées. Vraisemblablement les unités de conditionnement des semences seront appelées à vendre directement une certaine quantité de semences et à rechercher également des débouchés pour la vente au détail de leurs semences.

Il faut que de nombreuses coopératives, même celles non intéressées par le conditionnement des semences, acceptent de vendre des semences après leur complet conditionnement, ensachage et étiquetage (à condition que la marge de profit soit suffisante pour rendre cette opération intéres-

sante). Certains cultivateurs locaux peuvent également servir de négociants en semences au niveau du village. Même si elles ne sont pas concernées par le conditionnement des semences, des boutiques de vente de semences (ainsi que d'autres boutiques pour les fournitures agricoles) peuvent constituer des débouchés pour la vente des semences au détail dans divers villages et villes.

Il n'est pas nécessaire (ou souhaitable) de subventionner cette phase du programme, sous prétexte d'une mise à la disposition des paysans de semences de qualité. En effet, cette action constitue en elle-même un motif suffisant pour justifier un prix assez élevé permettant le financement des efforts et des dépenses supplémentaires associés à la production, au conditionnement et à la distribution de ces semences. Une analyse de ces points, présente dans un rapport de la FAO de 1962, établit que:

Les programmes d'amélioration des semences sont subventionnés parce que l'on croit que le cultivateur ne voudra ou ne pourra pas payer le prix supplémentaire nécessaire au financement d'un programme de production et de distribution de

semences de qualité. Or, ces subventions effectuées sous diverses formes ne sont pas propices au développement d'une industrie semencière saine pour diverses raisons : (1) Le programme pour des semences de qualité devient plutôt et surtout un programme de crédit ou de prêt. (2) Le volume de semences produit et distribué est plus limité par les affectations de fond de l'état que par les besoins ou le marché de l'offre et la demande. (3) Aucune industrie semencière privée ne peut se créer puisqu'aucun profit ou activité en équilibre n'est possible. (4) Les agents de l'agriculture deviennent plus des employés de bureau de l'approvisionnement en bonnes semences que des éducateurs ou des démonstrateurs, et (5) une fois établi, il est difficile de supprimer ce programme de subvention.

Le personnel concerné par le développement des unités de conditionnement, de stockage et de distribution en gros des semences peut également mettre sur pied une organisation des ventes travaillant dans le district de leur zone d'intervention. Cette organisation des ventes peut comprendre un directeur commercial, un vendeur au plan du district et des détaillants, comme nous l'avons mentionné précédemment.

A ce niveau, les personnels pour le développement et la vulgarisation des semences, plus particulièrement les premiers, peuvent également avoir de nombreuses autres responsabilités à savoir :

- la fourniture aux cultivateurs de listes et d'infor-

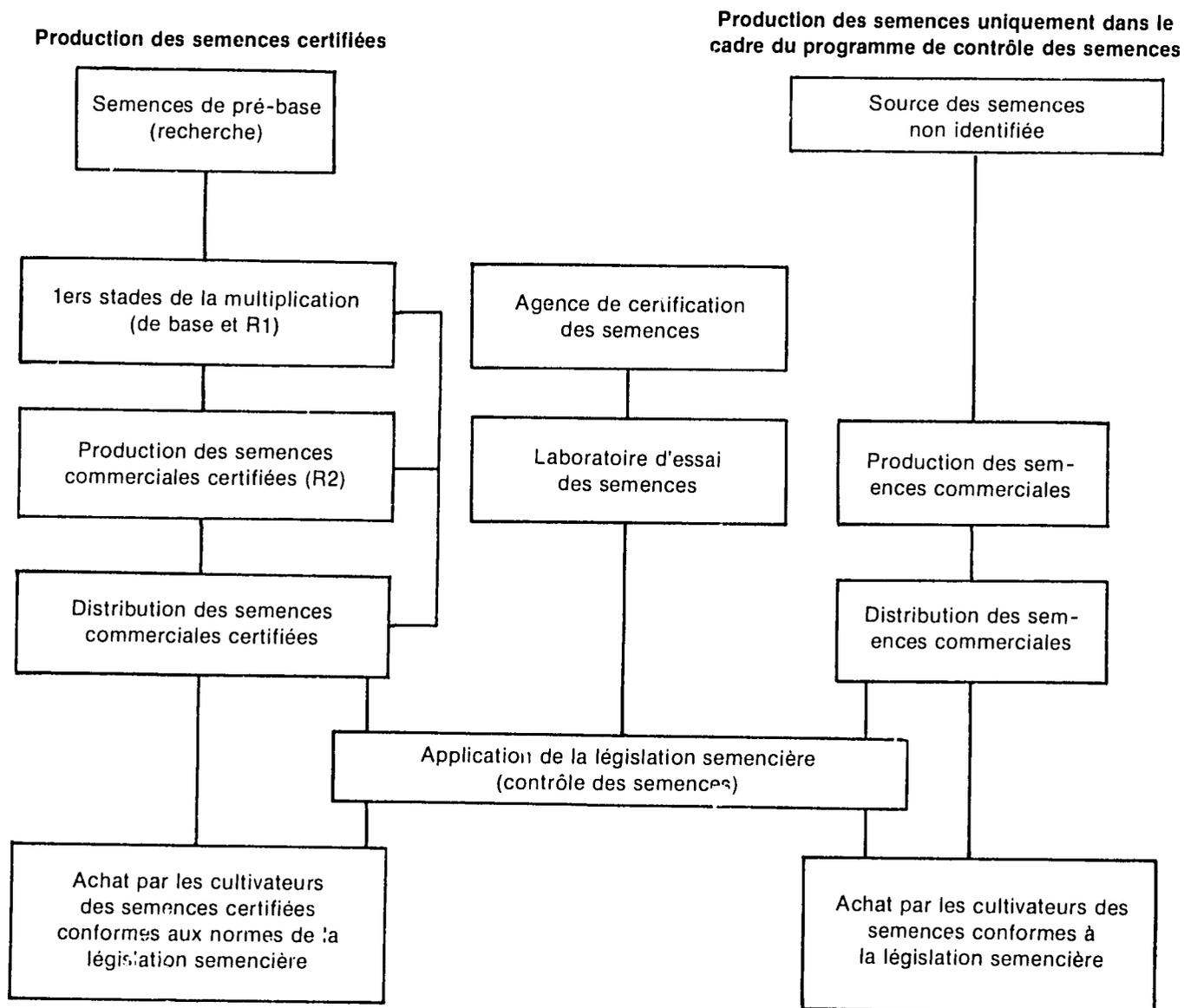


Figure 5.5: Production des semences certifiées ou non.

- mations sur les sources de variétés et d'hybrides améliorés.
- la préparation de démonstrations.
 - l'organisation de journées sur le terrain et de réunions spéciales avec pour centre d'intérêt des semences de qualité de variétés et d'hybrides améliorés.
 - l'organisation de réunions de formation pour les responsables des centres de conditionnement des semences, les cultivateurs de semences, et le personnel chargé du programme de distribution générale. Ce travail serait distinct de celui de l'inspection au champ et de l'échantillonnage des semences, responsabilités assurées par le personnel, relativement peu nombreux, et bien formé, travaillant sur le programme de certification et de contrôle des semences.

- encourager les cultivateurs à tester leurs propres semences pour la germination ou à adresser un échantillon pour essai au laboratoire d'essais des semences.

Bibliographie

FAO. 1962. Report of the FAO Technical Meeting on Seed Production, Control and Distribution. Rome : FAO.

Production et distribution des semences en dehors du programme de certification des semences

Des quantités importantes de semences produites sans les soins et la surveillance nécessaires accordés ordinairement aux semences certifiées continueront à être semées. Une grande partie de celles-ci, dans le cas des cultures autogames, sera constituée par les propres semences du paysan. Une autre partie proviendra de négociants en semence ne disposant pas de variétés améliorées pour la production de semences certifiées.

L'établissement et l'application, dans le cadre de la loi sur les semences, de la réglementation sur le degré de germination et de pureté minimum, constitue un moyen d'amélioration de la qualité pour toutes les semences vendues et non plus seulement pour les semences certifiées.

La plupart des points traités sous la rubrique "Aspects de la multiplication et de la distribution des semences" concernant les semences certifiées peuvent également être appliqués aux semences multipliées et distribuées en-dehors de ce programme.

Tous ceux qui sont, particuliers et entreprises, concernés par cette phase du programme doivent avoir une responsabilité accrue en s'engageant à produire et à vendre un produit de qualité correspondant au moins aux normes définies par la législation sur les semences.

Le personnel de vulgarisation a la responsabilité :

- de faire connaître à tous ceux faisant commerce des semences leurs droits et leurs obligations selon la législation semencière.

Développement d'une industrie semencière

D'après l'étude de Wayne H. Freeman

Dans une économie en voie de développement, souvent les agences ne comprennent pas toujours très bien leur rôle et leurs rapports. Bien que, établis sous forme écrite, les programmes et les projets peuvent poser des problèmes de mise en oeuvre et d'interprétation importants.

Les concepts de compétition et de profit ont été cités comme stimulants nécessaires au développement d'une industrie semencière. L'expérience du développement d'une industrie des semences hybrides en Europe (Jenkins, FAO Report, 1953) a montré qu'une absence de compétition, due aux associations de producteurs et aux interventions du gouvernement avait retardé le développement dans ces pays d'une industrie semencière. Certains des concepts les plus traditionnels proposant la production des semences par le Service de l'Agriculture, et leur distribution par une agence de vulgarisation en tant que contribution publique ne peut pas s'appliquer à la production et à la commercialisation des semences hybrides. Un programme de production de semences de qualité nécessite une mise en oeuvre étape par étape. Ces fonctions sont recensées dans le Tableau 5.1.

La différence entre l'approche plus traditionnelle et celle définie Tableau 5.1 est que dans cette approche les agences publiques ont la responsabilité du contrôle de la qualité et de la vulgarisation alors que les agences privées sont surtout concernées par la production et la commercialisation.

Plusieurs exemples illustrent les types de problèmes susceptibles d'apparaître dans la production des semences hybrides plus facilement résolus par l'approche ci-dessus que par l'approche traditionnelle. Le Tableau 5.2 montre les niveaux de production des semences nécessaires pour la plantation de superficies commerciales diverses.

Lorsque les surfaces sous une culture dans un pays sont assez importantes pour supporter une industrie de semences hybrides, la superficie nécessaire à la production de ces semences est importante. Cette superficie est généralement supérieure à celle dont peut disposer un Service de l'Agriculture pour cette production.

Ainsi, une grande partie des semences produites doit-elle l'être par nécessité sur des terres privées. Encouragements privés et entreprises privées ont évidemment leur place.

Les compétences techniques nécessaires à la production des semences hybrides sont rares, et n'importe quel cultivateur ne peut pas produire ses propres graines. De même, le renouvellement annuel des semences hybrides exige des volumes si importants qu'un matériel spécialisé s'avère indispensable pour traiter les cultures de semences, de la plantation à la vente au consommateur.

Tableau 5.1: Fonctions diverses de l'industrie semencière et agences concernées.

Fonction	Agence(s)
1. Recherche (centrale, régionale, des états)	Gouvernementale (ou privée)
2. Diffusion des variétés	Commission pour la diffusion des variétés (pour les produits de la recherche non privée en amélioration des plantes) au niveau du pays ou des états
3. Production des semences de base	Agence pour la conservation des semences de base et/ou producteurs privés possédant leurs propres hybrides
4. Production et distribution des semences	Producteurs privés vendant des semences aux cultivateurs
5. Certification des semences	Agence(s) reconnue(s) pour la certification
6. Réglementation des semences	District, province et Services de l'Agriculture
7. Vulgarisation	Universités d'agriculture et/ou services gouvernementaux et/ou groupes de développement communautaire, et/ou firmes semencières.
8. Crédit	Coopératives, banques, etc.

Tableau 5.2: Besoins annuels en semences pour le sorgho hybride à différents niveaux d'utilisation.

Surface cultivée en hybride commercial (ha)	Semences nécessaires (1000 kg) pour un taux de semis de 10 kg/ha	Superficie (ha) nécessaire pour la production* des semences hybrides
25 000	250	250
50 000	500	500
100 000	1 000	1 000
500 000	5 000	5 000
1 000 000	10 000	10 000
5 000 000	50 000	50 000

* En supposant une production de 1000 kg/ha d'une semence hybride.

Des opérations importantes sont donc nécessaires pour justifier ces dépenses de matériel et s'assurer que le coût de l'équipement n'entraîne pas un accroissement prohibitif du coût par kilogramme de semences.

Une rapide expansion de la production selon des objectifs fixés par le gouvernement—peut-être en réponse à des demandes de semences valables—peut faire échouer et peut-être anéantir totalement le développement d'une industrie semencière. Une augmentation rapide de la production peut provoquer une grave pénurie de matériel de conditionnement des semences. Par exemple, un programme semencier dont l'objectif est la production de semences de nouveaux hybrides dans le but d'introduire un nouveau concept de qualité concernant les semences peut subir un recul important parce que les semences d'hybrides mises au point dans un tel cadre d'expansion rapide seraient probablement produites, récoltées et conditionnées sans contrôle suffisant de la qualité, comme cela fut le cas pour les semences des variétés en pollinisation libre dans le passé. Un programme de certification et d'application de la législation semencière nouvellement mis en place pourrait gravement en pâtir ou totalement échouer.

Il faut donc développer une industrie de la production des semences répondant aux besoins de la demande—avec fixation de normes pour des semences de qualité.

Responsabilités du gouvernement

Comme nous l'avons indiqué dans le Tableau 5.1, le

gouvernement a des obligations que ne peuvent assurer aucun autre groupe.

Recherche

Le gouvernement a l'obligation continue vis-à-vis de la société de maintenir son rôle de leader pour la recherche d'adaptation qui devra fournir plus de denrées alimentaires, grâce à une amélioration des variétés, des hybrides, des pratiques culturales, ou des mesures de protection des cultures.

Production des semences de base

Il faut recourir à la multiplication des semences de pré-base pour obtenir le volume de semences nécessaires pour la production commerciale des semences hybrides. Une organisation satisfaisante concernant ces semences de base doit être mise sur pied pour décharger les sélectionneurs et les chercheurs de cette responsabilité.

Le devenir de toute l'industrie semencière repose sur une organisation acceptant la responsabilité de la conservation des semences de base. Si l'approvisionnement en semences de base est réduit, alors la superficie des plantations commerciales de cet hybride ou de cette variété sera limitée.

Si les souches de semence deviennent impures par manque de soin ou par négligence, le producteur et le consommateur en souffriront. Cette fonction ne devra jamais constituer un goulet d'étranglement pour l'utilisation des nouvelles variétés et des nouveaux hybrides. La qualité, avec toutes ses ramifications, doit être la vertu cardinale d'un programme de semences de base.

La production des semences de base exige des compétences techniques spéciales et les meilleures terres disponibles. Ce n'est que grâce à une fertilisation correcte de bons sols que les spécialistes pourront reconnaître et éliminer les types indésirables apparaissant fréquemment dans les champs de production, même dans les meilleures opérations semencières.

Ce sont lorsque les consommateurs de semences de base (producteurs de semences commerciales) deviennent membres des organisations parastatiques de distribution de ces semences de base que ces organisations développent leurs meilleures relations de travail. Les utilisateurs sont partiellement responsables de la qualité des semences obtenues, ils sont donc à même de demander des semences de meilleure qualité à l'organisation

responsable de la conservation des semences de base.

Certification des semences

La certification des semences est un moyen volontaire de préservation de l'identité et de la qualité. Le Service de l'Agriculture pourrait probablement s'acquitter de cette fonction il est vrai, mais d'autres agences peuvent peut-être être autorisées à le faire. On pourrait organiser une association pour l'amélioration des cultures ou des semences composée de tous les producteurs de semences désirant avoir la même marque pour leurs semences; ceci est souvent réalisé en liaison avec les activités de vulgarisation d'une faculté d'agriculture employant le personnel technique chargé d'appliquer les normes fixées par l'association.

Réglementation des semences

L'application de la législation semencière est une fonction gouvernementale, le gouvernement étant la seule agence susceptible de proposer une réglementation adéquate. Il faut adopter une législation souple. Face au changement, règlements et réglementations peuvent être modifiés.

La qualité des semences s'améliorant avec le recours à un meilleur matériel, plus de compétence technique, etc., la réglementation pourrait être modifiée pour refléter cette amélioration. En effet, une réglementation inutilement restrictive est susceptible de grandement nuire au développement d'une industrie semencière, et les incitations à une activité plus productive dans ce domaine être annulées ou sérieusement réduites. Une économie recherchant un taux d'expansion rapide ne peut pas maintenir une législation semencière restrictive et rigide. Les normes peuvent être modifiées et élevées au fur et à mesure qu'une telle industrie se développe et atteint sa capacité de production.

Vulgarisation agricole

Les vulgarisateurs ont appris que, plus le niveau d'éducation est faible, plus important doit être le programme de vulgarisation pour promouvoir l'adoption de nouvelles pratiques. Cette fonction est du ressort du gouvernement mais elle peut également être assurée par l'industrie. Néanmoins, les recherches patronnées par le secteur public doivent

continuer à fournir de nouvelles informations diffusées par les agences gouvernementales.

Crédit

Les programmes de crédits programmés par le gouvernement doivent s'appliquer à deux catégories : le cultivateur, consommateur de semences, et l'industrie qui en est le producteur. Devant l'extrême diversité des demandes de crédit, il est recommandé que ces deux types de crédit ne soient pas administrés par la même agence gouvernementale ou par étatique. Un seul paysan, par exemple, peut utiliser le même type de crédit à deux titres différents : en tant qu'agriculteur indépendant et en tant que cultivateur pour un agent lui achetant ses semences en tant que semences "brutes"; l'agent, ou le producteur, ayant alors la responsabilité du conditionnement et du stockage de ces semences avant la vente; dans ce cas-là le crédit nécessaire est à plus long terme que pour la culture.

Les besoins de crédit du producteur sont d'un type tout à fait différent de celui du cultivateur. Le crédit peut être d'une durée plus longue, le producteur pouvant être amené à financer ceux qui cultivent pour lui et en même temps ceux qui vendent ses semences (ou dans certains cas, le cultivateur consommateur de semences). Ce crédit concerne son produit, les semences, mais auxquels s'ajoutent également des besoins de crédit pour les investissements de capitaux et le capital d'exploitation investi dans la création de semences utilisables à partir de la semence brute ou au champ. Il existe également d'autres besoins de crédit tels les devises étrangères pour l'achat de matériels spécialisés pour l'aménagement des terres, la production, le séchage et le conditionnement des semences, et peut-être les insecticides et les engrais. Un équipement de conditionnement des semences est indispensable pour une bonne préservation de la qualité. Le matériel de production des semences peut permettre d'accroître l'efficacité de la production. Le matériel d'aménagement des terres peut être utilisé pour le nivellement en vue de l'irrigation et du drainage. Le matériel d'irrigation permet une irrigation plus à propos et une utilisation plus efficace des ressources en eau limitées.

Objectifs

La programmation d'un schéma de croissance basé sur les taux d'acceptation et les taux de croissance

normale en ce qui concerne l'utilisation des semences et des engrais peut servir de base de référence aux producteurs de semences dans leur évaluation de la consommation de semences ainsi que de schéma de production.

Dans le cas où le total des besoins dépasserait les capacités de production des producteurs privés, des efforts devraient être faits pendant la période transitoire pour rechercher des motifs d'incitation à produire plus. Un producteur qui a des débouchés de vente pour la production de 40 ha, mais pourrait produire 200 ha, doit recevoir l'assurance que cet excédent ne lui restera pas sur les bras. L'idée d'une "banque" des semences a été proposée qui permettrait au gouvernement d'assurer les risques de ces stocks supplémentaires afin d'encourager le producteur à développer son activité.

Restriction aux mouvements des semences

Certaines zones de production céréalière peuvent se révéler ne pas être nécessairement les meilleures zones de production de semences. Les problèmes d'isolement, les conditions météorologiques, l'approvisionnement en eau, et de nombreux autres facteurs conditionnent donc le choix des zones de production des semences. Les producteurs de semences, si le libre mouvement des semences était autorisé, produiraient des semences dans les régions où production et distribution sont les plus économiques. Ces localisations seraient utilisées jusqu'au point d'être limitées par les coûts de la distribution. Aux Etats-Unis, la plupart des semences légumières sont produites dans deux ou trois états de l'Ouest, où grâce aux conditions climatiques les producteurs ont un rendement assuré de semences de qualité. On constate la même situation pour certaines semences de légumineuses produites dans les états du nord-ouest sur la Côte Pacifique mais cultivées comme culture dans le sud-est des Etats-Unis.

Des frontières restreignant les mouvements de semences tendront à retarder le développement d'une industrie semencière.

Formation

L'industrie semencière exige de bonnes connaissances techniques; la formation s'avère donc indispensable. Cette phase d'un programme semencier peut être grandement accéléré grâce à des programmes de formation dans le pays. La formation

doit jouer un rôle important et actif dans le développement d'une industrie semencière.

Responsabilités des producteurs de semences

Dans le Tableau 5.1 sont recensées les fonctions d'un producteur de semences dans son rôle de mobilisateur pour la culture, le séchage, le conditionnement, le stockage et la distribution des semences. Peut-on faire confiance aux producteurs pour remplir cette mission? Pourront-ils atteindre un niveau leur permettant de répondre aux demandes de production de semences? Auront-ils l'intégrité morale d'assurer cette fonction importante pour l'économie agricole? Produiront-ils des semences de qualité ou les frelatteront-ils pour produire des semences de qualité minimum? L'expérience a montré que, lorsqu'ils sont encouragés et investis de cette tâche, les producteurs de semences peuvent très bien s'acquitter de ces diverses responsabilités.

Il est difficile d'espérer qu'ils acceptent d'assumer ces responsabilités si la peur d'un changement de politique gouvernementale décourage des investissements importants ou s'il existe une menace de contrôle des prix pouvant les forcer à vendre à des prix inférieurs au prix de revient. Les producteurs de semences se révéleront des coopérateurs réticents en cas d'une menace de production de semences sur les terres de l'état qui seraient vendues en-dessous du coût de production, ou si la distribution de leurs semences est susceptible d'être limitée à un état ou à une partie d'un état.

Admettant que les encouragements nécessaires aient été reçus du gouvernement pour que les grainiers privés puissent gérer toute l'industrie, qu'elles seraient les responsabilités d'une telle industrie?

Un grainier ayant risqué sa réputation dans la création d'une entreprise de semences aura son propre programme de contrôle de la qualité. La législation semencière ne risque pas de gêner ce grainier car ses normes seront comprises dans les limites d'une législation raisonnable sur la qualité. La loi le protège, lui-même et le paysan, contre les pratiques indélicates de grainiers moins moraux susceptibles d'essayer de vendre des semences de la même lignée ou du même hybride sous un étiquetage inexacte quant à l'identité, la germination, la pureté, etc.

Les grainiers assurant une responsabilité vis-à-

vis de leurs acheteurs rechercheront les meilleurs moyens de les servir. Ils seront donc intéressés par un meilleur matériel de conditionnement, de meilleures installations de séchage et de stockage des semences, ainsi qu'une meilleure distribution et commercialisation.

Les grainiers efficaces essayeront d'acquérir plus de compétences techniques en permettant la formation de leur personnel et en recherchant des hommes possédant la formation professionnelle nécessaire à la production de meilleures semences.

Au début, le producteur de semences peut exploiter les produits de la recherche des institutions publiques; plus tard, il pourra désirer créer sa propre unité de recherche. Il peut commencer par la mise au point de variétés et d'hybrides mieux adaptés aux conditions locales, mais avec le temps les produits de ses recherches pourront avoir un intérêt national et international.

Les grainiers ont des intérêts communs dans de nombreux aspects d'un programme semencier et constituent souvent plusieurs sortes d'organisations semencières. La All India Seed Growers and Merchants Association et la All India Crop Improvement and Seed Producers Association sont deux associations de ce type en Inde. La mise au point d'une éthique de la profession, le développement de liaisons avec les agences gouvernementales pour des conseils sur les recherches, la législation semencière, l'approvisionnement en souches de semences, etc., des subventions aux organismes de recherche pour qu'ils apportent leur aide à la solution des problèmes de recherches spécifiques à cette industrie, tels sont quelques exemples du type d'activité que ces associations peuvent assurer.

L'une des principales préoccupations d'un gouvernement est de pouvoir fournir aux cultivateurs des semences répondant à leurs besoins en quantité et en qualité, d'où la nécessité d'un programme à plusieurs phases permettant à l'industrie semencière d'assurer ces responsabilités.

Régulièrement les producteurs de semences recourent à la surplantation pour s'assurer un approvisionnement important indépendamment des conditions météorologiques ou autres aléas de la production. Avec ces excédents, l'industrie est capable de maintenir des stocks de réserve et d'échange en cas de pénuries locales dues à de mauvaises conditions climatiques, etc. Avec le développement de la production des semences et donc de l'augmentation du rendement à l'hectare, les excédents de semences dus à la surplantation de surfaces importantes peuvent être réduits.

Une industrie ayant atteint son régime de croi-

sière s'adressera peu au gouvernement, mais assurera de nombreux risques couverts par les profits retirés d'une bonne production. Une telle industrie semencière assume également la responsabilité des semences de réserve jusqu'au maillon de la vente au détail. Toutes les semences sont retournées pour un stockage, un retraitement, un re-ensachage adéquats avant d'être de nouveau mises en vente. Les semences non vendables peuvent être utilisées comme grains, permettant une récupération partielle du prix de revient.

Un certain nombre d'entreprises aux Etats-Unis et en Europe ont acquis de l'expérience dans toutes ces phases de l'industrie semencière. Généralement, certaines de ces sociétés font profiter de leurs compétences en participant au développement d'industries semblables en Amérique du Sud et en Afrique.

Annexe 1

L'annexe 1 est adaptée des articles rédigés par des auteurs suivants—Johnson E. Douglas ("The Seed Law", "Guidelines for Establishing a Seed Certification Agency," et "Seed Policy"), L.R. House ("A Variety Release Committee") et Wayne H. Freeman et Johnson E. Douglas ("A Foundation Seed Stocks Agency").

La législation semencière

Pour qu'une industrie semencière valable, pouvant fournir aux cultivateurs des semences de haute qualité à des prix raisonnables, se développe, une législation semencière imposant des normes minimales de germination, de pureté, de teneur en graines d'adventices, et d'autres qualités semencières est indispensable.

La législation semencière doit spécifier la nature des renseignements obligatoires portés sur l'étiquette accompagnant les graines à la vente et s'assurer que ces renseignements sont exacts.

En outre on doit prévoir des dispositions d'application de la législation. Une Commission des semences au niveau du pays ou de l'état doit être créée et chargée d'interpréter la loi et de la modifier lorsque les conditions changent.

La création d'un tel système obligatoire de contrôle des semences et son fonctionnement correct pourra garantir aux cultivateurs la délivrance de semences d'origine et de qualités connues. Ainsi, l'industrie semencière protégée par la loi peut prospérer sans concurrence déloyale d'entrepreneurs sans scrupules.

Un contrôle efficace des semences exige : (1) une législation semencière et le respect de cette législation dans chaque état pour les semences produites et commercialisées dans cet état; et/ou (2) une législation semencière nationale et une agence chargée de faire respecter cette législation pour le contrôle des semences circulant dans le cadre du commerce entre états. Pour éviter toute confusion inutile, les législations semencières dans les différents états devraient être aussi uniformes que possible. Les différentes étapes nécessaires à la réalisation de ces objectifs sont décrites ci-après.

Mise sur pied d'une législation semencière type

Le directeur de la production et de la distribution semencière doit mettre sur pied un modèle de légis-

lation semencière applicable aux conditions du pays et conforme aux exigences légales après avoir consulté :

- a. Les agronomes, les sélectionneurs, le personnel de vulgarisation, les producteurs de semence, les membres des firmes semencières existantes et d'autres fonctionnaires des services agricoles sur :
 - la terminologie et les définitions à utiliser dans le modèle de législation;
 - les spécifications concernant les quantités tolérables de graines d'autres cultures ou adventices;
 - le type d'étiquetage nécessaire;
 - les autres dispositions techniques du modèle de législation.
- b. Les experts juridiques compétents sur la rédaction du modèle de législation.

Adoption de la législation semencière : Pour mettre en place les lois semencières au niveau des états le directeur de la production et de la distribution semencière doit travailler avec les fonctionnaires compétents de chaque état pour être sûr que chaque législation est rédigée en conformité avec le modèle. Dans la législation semencière des états, ou dans une législation complémentaire parallèle, des dispositions doivent être prises pour créer une Agence d'exécution de la législation semencière sous l'autorité du Directeur de l'Agriculture.

Pour mettre sur pied un projet d'une législation semencière nationale à soumettre au Parlement pour promulgation, le Directeur de la production et de la distribution semencière doit collaborer avec les fonctionnaires compétents du gouvernement central. Dans la législation semencière nationale, ou dans la législation complémentaire parallèle, des dispositions doivent être prises pour créer une Agence d'exécution de la législation semencière, sous l'autorité d'un fonctionnaire compétent du Ministère de l'Alimentation et de l'Agriculture.

Mise sur pied d'une agence d'exécution de la loi

Le Directeur de la production et de la distribution semencière devra consulter les fonctionnaires compétents pour l'installation et le choix du personnel pour l'Agence d'exécution de la loi semencière dans chaque état, qui doit être indépendante des organismes de vulgarisation et de recherche de l'état. Dans chaque état l'Agence devra avoir la composition suivante :

Un responsable de l'exécution de la loi : Ce fonctionnaire devrait avoir à la fois une formation et une expérience des travaux de laboratoire et une formation de maîtrise ou une expérience équivalente en botanique économique. Ses responsabilités sont : la charge du laboratoire d'essai des semences; la direction des inspecteurs chargés de la collecte des échantillons; la diffusion de l'information indispensable sur la législation semencière, la diffusion des règlements indispensables à l'exécution de la législation semencière, et l'engagement de toute action nécessitée par l'exécution des dispositions de la législation semencière.

Bureau semencier officiel

Ce bureau doit entendre les demandes de décisions et d'action du responsable de l'exécution de la loi et

agir en conséquence, approuver les règlements rédigés par ce responsable et le conseiller dans les procédures d'exécution de la loi. Ce bureau sera présidé par le Directeur de l'Agriculture. Il comprendra trois représentants de l'industrie des semences (organismes, coopératives ou sociétés privées, s'occupant du commerce de semences), trois représentants des exploitants agricoles de préférence nommés par leurs pairs, un représentant de la vulgarisation et un représentant de la recherche en amélioration des plantes.

Laboratoire officiel d'essai des semences

Le personnel (en plus du responsable de l'exécution de la législation semencière également responsable de ce laboratoire) comprend : un analyseur de semences en chef, un assistant de laboratoire, des analyseurs en nombre suffisant, des aides de laboratoire et des employés de bureau en nombre ajusté au volume des travaux d'essai des semences.

Fonctions : Faire l'essai de tous les échantillons officiels rapportés par les inspecteurs lors des inspections de routine, et dans les cas où il y a litige. Faire les essais (à titre onéreux) des échantillons envoyés pour ce faire, par les producteurs de semence, les marchands de graines, les exploitants agricoles, etc. Compléter l'analyse des échantillons soumis à certification jusqu'à ce que le volume des essais officiels de semence et de certification justifie l'installation d'un laboratoire séparé pour ce dernier service.

Installations : Bâtiments avec des bureaux pour le personnel et les archives, et un laboratoire d'essai. Equipement de laboratoire et agents formés à son utilisation.

Inspecteurs officiels

Devoirs : Prélèvement d'échantillons officiels sur une base de contrôle ponctuel des semences passant par le circuit commercial ou proposées à la vente dans les graineries. Prélèvement d'échantillons officiels sur demande du propriétaire des semences, ou dans les cas comportant une action légale. Service en tant qu'agents du responsable de l'exécution de la législation semencière pour l'application des dispositions de cette loi et pour le rassemblement de l'information nécessaire à son exécution.

Nombre : On aura, probablement, besoin en plein fonctionnement d'un inspecteur en moyenne pour

chaque district. Pour commencer, on pourrait affecter un inspecteur à tout district dans lequel un intérêt spécial est porté aux programmes de semences améliorées, par exemple les districts où sont installés des organismes ou des coopératives semencières. En plus du simple équipement nécessaire pour l'échantillonnage tel que sondes à sac, instruments d'observation, seaux, sachets, chaque inspecteur aura besoin d'un véhicule (type "Jeep") pour assurer un service correct dans sa zone d'action.

Besoins financiers

Il faut prévoir pour le personnel des frais de salaire et de voyage. Ce personnel pour un état ou une région peut avoir la composition suivante :

Un responsable de l'exécution de la loi
 Un chef analyste de semences
 Un assistant de laboratoire
 Trois à cinq inspecteurs
 Le personnel de bureau nécessaire

Équipement et matériels :

Bâtiment et équipement d'un laboratoire semencier
 Fournitures : papier à germination, sacs, étiquettes, fourniture de bureau, etc.
 Trois à cinq véhicules

Directives pour la création d'une agence de certification des semences

Les agences de certification au niveau des diverses provinces, districts et états s'efforcent de conserver et de multiplier des semences de haute qualité des meilleures variétés de plantes, produites et distribuées, dans des conditions garantissant leur identité génétique et leur pureté.

L'agence de certification créée dans le cadre de la loi sur les semences peut prendre la forme d'une association reconnue par les lois du pays comme "à but non lucratif" et avoir pour objectif principal la certification des semences. L'agence de certification créée sera un organisme officiel agissant comme agence indépendante sous la tutelle du gouvernement.

L'agence n'a pas à s'engager dans la production,

le traitement ou la distribution des semences en tant qu'agence ou organisme. Cependant, la commission de certification des semences (qui doit être l'organisme directeur de l'Agence de certification des semences) peut être composée, en partie, de personnes faisant profession de produire, traiter ou distribuer des semences.

Les membres de cette commission peuvent être nommés par le gouvernement. La commission peut comprendre des personnalités des catégories ci-après :

Nbre de représentants	Catégorie professionnelle
2	Sélectionneurs
1	Phytopathologiste
2	Producteurs de semences certifiées
2	Grainetiers vendeurs de semences certifiées
1	Secrétariat de l'agriculture
1	Service de vulgarisation agricole
1	Faculté d'agriculture
1	Directeur adjoint de l'agriculture (semences)
1 (ex officio)	Responsable de la certification des semences
1 (ex officio)	Analyseur des semences (en chef)
1 (ex officio)	Inspecteur semencier en chef
1 (ex officio)	Représentant du gouvernement central

Le responsable de la certification des semences fait office de secrétaire de la commission.

Les personnes nommées par le gouvernement au sein de la Commission au début (à l'exception des membres de droit) le seront pour des périodes de un ou deux ans de sorte que les personnes représentant des catégories spéciales puissent servir durant des périodes échelonnées.

Par la suite, les nominations sur des périodes de deux ans doivent assurer la constance de l'effectif des membres de la commission; une personne ayant été membre de la commission peut être de nouveau nommée à celle-ci.

Lorsqu'un organisme professionnel de producteurs de semences certifiées atteint un effectif de vingt-cinq membres cotisants (ou de plus de vingt-cinq) authentiques, il doit en aviser le Secrétariat à l'Agriculture. L'organisme de producteurs de semences certifiées peut ensuite présenter trois de ses membres pour nomination à la Commission des semences et le gouvernement peut nommer deux d'entre eux au départ et un troisième par la suite.

Selon un processus identique, lorsqu'un organisme professionnel de *commerçants* en semences distribuant des semences certifiées atteint un effectif de vingt-cinq membres cotisants (ou de plus de vingt-cinq), authentiques, il doit en aviser le gouvernement. Après cela, l'organisme de commerçants en semences certifiées peut présenter trois de ses membres pour nomination à la Commission des semences et le Secrétariat à l'Agriculture peut nommer deux d'entre eux au départ et un troisième par la suite.

Lorsqu'est créée une organisation représentant convenablement à la fois les producteurs et les commerçants en semences certifiées, cette organisation peut présenter dix personnes, trois d'entre elles étant des producteurs de semences certifiées, trois autres étant des commerçants en semences certifiées. Au reçu de ces désignations le gouvernement peut nommer à la Commission de certification des semences deux producteurs de semences et deux commerçants au départ et un autre membre par la suite.

Si plus d'une organisation de producteurs de semences certifiées ou de commerçants en semences certifiées présente les qualifications mentionnées ci-dessus, chacune d'elles peut présenter des candidats à la nomination par le gouvernement.

Les droits collectés lors des inspections seront versés dans un fonds renouvelable sous le contrôle de l'Agence de certification et seront utilisés par la Commission de certification sur justifications correspondantes pour faire face à toutes les dépenses obligatoires (dont les salaires du personnel indispensable, l'acquisition des véhicules, l'équipement, les fournitures, le paiement des frais des voyages des agents, des inspecteurs et des membres de la commission et enfin le coût des publications). L'enregistrement des dépenses et des recettes doit être fait selon les instructions du gouvernement.

Fonctions de l'Agence de certification des semences

1. Vérifier la pureté variétale et l'identité des variétés de semences mises en certification et vérifier que le producteur de semences certifiées reçoit et plante les dites semences dans les conditions prescrites.
2. Indiquer le processus à suivre pour la production, la récolte, le traitement, le stockage et l'étiquetage des graines destinées à la certification afin que les lots de semences finalement déclarés certifiés soient authentiques quant à la

variété et conformes aux normes minimum pour la certification.

Fournir les bulletins et les formulaires nécessaires, en même temps que les informations sur les normes et les dispositions réglementaires de la certification à toute personne ayant les qualifications nécessaires et qui manifeste de l'intérêt pour la production des graines certifiées.

Vérifier à la réception d'une demande de certification que la variété est acceptable pour la certification, que l'origine des semences dont elle est issue a été authentifiée par des étiquettes de certification et des bulletins d'achat en accord avec les prescriptions réglementaires et que les taxes prévues ont bien été versées avec la demande.

3. Procéder à l'inspection des champs pour s'assurer que les normes minimum requises concernant l'isolement, le taux de plantation, le roguing (lorsqu'il est applicable), l'utilisation de la stérilité mâle (lorsqu'elle est applicable), et autres facteurs analogues soient bien respectés à tout moment et pour vérifier en outre que les maladies transmissibles par les semences ne sont pas présentes dans le champ à un taux supérieur à celui admis par les normes réglementaires pour les cultures individuelles.

La présence et le taux de présence de semences adventices interdites, indésirables et autres, doivent apparaître dans le rapport d'inspection du champ.

Décider par un vote à la majorité de la Commission (selon la procédure réglementaire adoptée par la Commission) si chaque lot de graines produit sous sa compétence satisfait à toutes les exigences réglementaires de la certification. Les décisions de cette nature pour chaque lot de semences peuvent être déléguées au Responsable de la certification des semences dans les cas où la conformité est évidente, mais peuvent toujours être sujet à révision par la Commission de certification des semences.

4. Echantillonner et inspecter les lots de semences produites, selon les procédures de l'Agence de certification et soumettre les dits échantillons pour essais au Laboratoire des semences de l'Etat afin de s'assurer que les semences sont bien conformes aux critères établis de qualité et de pouvoir germinatif.
5. Inspecter les installations de traitement des semences pour constater l'absence de mélange avec des semences d'autres espèces ou variétés, voir si le traitement est conduit de façon à

- ne pas léser les semences et de façon à aboutir finalement à la production de semences de haute qualité conformes aux normes prescrites.
6. Etablir une liste des installations de traitement (avec le personnel et l'équipement) susceptibles de satisfaire aux objectifs précisés dans les paragraphes ci-dessus; désigner de telles installations en tant que "installations de traitement agréées" pour le traitement des semences certifiées, et leur distribuer un panonceau "ad hoc" identifiant et agréant ces installations de traitement; supprimer l'agrément et le panonceau aux installations qui ne respectent pas les normes réglementaires.
 7. En accord avec la Commission centrale semencière, mettre au point la forme des étiquettes de certification à utiliser pour identifier les divers lots et générations de semences certifiées et délivrer de telles étiquettes.
 8. S'assurer : que les contrôles au champ nécessaires pour maintenir la pureté de la variété sont complets et réalisés à temps; que l'inspection des lots de semences produites sous le contrôle de l'Agence de certification des Semences est faite à temps; que les échantillons de semences sont promptement présentés à l'analyste de semences compétent; que les bulletins de certification, les étiquettes de différent type, les cachets sont promptement édités de sorte que la commercialisation méthodique de la graine soit possible.
 9. Conduire des programmes de formation pour promouvoir l'utilisation des semences certifiées, y compris une publication de la liste des producteurs et des sources de semences certifiées.
 10. Prévoir un niveau de taxation tel que celui-ci puisse couvrir tous les coûts induits par les devoirs et les responsabilités de l'Agence de certification après l'attribution par le gouvernement d'une subvention préliminaire pour démarrer le programme.
 11. Employer le personnel nécessaire pour assurer les fonctions demandées, à savoir :
 - un responsable de la certification des semences,
 - des inspecteurs de certification en nombre correspondant aux besoins,
 - un personnel de bureau adéquat.
 Acquérir le volume de bâtiment nécessaire pour les bureaux et le stockage, ainsi que l'équipement et fournir les formulaires pour réaliser le programme efficacement.
 12. Prévoir les déplacements nécessités par les inspections, en temps voulu, des semences et des parcelles.
 13. Coopérer totalement avec toute personne publique et privée dans les domaines concernant l'amélioration des semences dans le pays.
 14. Agir par le canal de la Commission de certification des semences, qui sera l'organisme directeur de l'Agence de certification des semences et qui représentera les intérêts de l'administration, des spécialistes, des producteurs et des commerçants en semence. La Commission peut élire des responsables et adopter des arrêtés et peut nommer autant de sous-commissions que cela peut être nécessaire pour s'occuper des problèmes relatifs à des cultures spécifiques ou des problèmes particuliers s'ils se posent.
 15. Observer les normes minimum de certification établies par le gouvernement sur l'avis de la Commission centrale des semences.
 16. Etablir d'étroites relations de travail entre les producteurs de semences certifiées, les commerçants en semences certifiées, le personnel de la recherche agronomique, les facultés d'agriculture, les services régionaux d'agriculture d'une part et les analystes de semences et les inspecteurs nommés dans le cadre de la loi, d'autre part.
 17. Procéder aux relevés nécessaires pour vérifier que les graines semées pour la production de semences certifiées puissent être agréées pour cet office en respect des règlements.
 18. Organiser les procédures pour le règlement des recours.
 19. Enquêter activement sur les violations prouvées ou soupçonnées de la législation semencière lorsqu'elles concernent les semences certifiées et entreprendre l'action appropriée. L'utilisation des termes "de base", "certifiées de première reproduction" et "certifiées de deuxième reproduction" pour des semences qui n'ont pas été certifiées selon les règles prescrites constitue un délit et une violation de la législation semencière. De la même façon, étiqueter comme certifiées des graines qui ne le sont pas, constitue un délit et une violation de la loi.
 20. Définir les devoirs des responsables de la certification des semences, des inspecteurs et des autres personnels employés par l'Agence.

Politique semencière à long terme

Un programme de production de semences de variétés à haut rendement et de semences hybrides de

bonne qualité doit recevoir le soutien le plus ferme et les plus vifs encouragements.

Toutefois, dans l'enthousiasme d'une progression rapide, il faut continuellement penser aux objectifs à long terme, aux moyens de les atteindre et aux effets probables des actions en cours.

Les milliers d'hectares de production de semences qui sont, au stade final, nécessaires pour fournir aux cultivateurs les semences hybrides et les semences de variétés améliorées, exigent les collaborations de centaines de gens et d'organisations. On est d'accord pour reconnaître que les agences gouvernementales ne peuvent, seules, mener à bien cette énorme tâche. Elles ont besoin de l'aide et du soutien des producteurs privés de semences; l'intérêt et la participation actifs à la production, au traitement et à la commercialisation des semences de ces derniers sont vitaux pour un programme de production et de distribution des semences dynamique.

Il est donc important de définir des politiques qui prévoient les facilités permettant aux organisations et aux individus d'apporter leur contribution maximale. Un examen des rôles respectifs joués par le secteur public et le secteur privé dans le programme semencier peut suggérer des politiques qui aideront à tracer les limites de ces fonctions.

Responsabilités majeures du Gouvernement central

1. Encourager et procurer un soutien financier aux programmes d'amélioration des plantes (recherche).
2. Promulguer arrêtés et règlements dans le cadre de la législation semencière et procéder à leur rapide application.
3. Soutenir la production de semence de base des hybrides par l'intermédiaire de l'Agence pour la conservation des semences de base (mais en même temps reconnaître la nécessité et l'occasion pour d'autres de faire de même).
4. Aider au développement d'une industrie semencière par l'encouragement des initiatives privées, des coopératives et des organismes. L'assistance à ces organisations peut comprendre :
 - crédits spéciaux,
 - assistance pour l'évaluation de l'équipement nécessaire pour le traitement des semences,
 - développement du marché et conseils sur l'art de vendre,
 - mise en valeur des terres et irrigation,

- partage du germplasma entre les programmes d'amélioration.

Responsabilités majeures des autorités du district, de la province ou des Etats

1. Renforcer les efforts de sélection dans leur zone.
2. Organiser une Agence de certification semencière en coopération avec la Faculté d'Agriculture et les producteurs de semences dans la région pour mettre à exécution un programme de certification de semences.
3. Recruter et organiser une petite équipe de gens qualifiés et bien formés pour l'échantillonnage des semences et l'application fidèle des dispositions de la législation semencière pour l'étiquetage.
4. Installer dans la région un laboratoire sérieux d'essai de semences pour satisfaire aux exigences des programmes de certification et d'application de la législation semencière.
5. Localiser et former les producteurs de semences.
6. Recruter et former un personnel de vulgarisation capable de fournir des conseils techniques utiles en matière d'amélioration des semences.

Rôle jouable par l'industrie des semences

1. Organiser la production, le traitement et la distribution des semences d'hybrides et de lignées; développement par ces organismes de marchés pour leurs semences; quelques achats de l'état peuvent être salutaires en un premier temps et aider à assumer les risques, mais cette pratique devrait être rapidement abandonnée.
2. Dans les cas d'une contribution possible de ces organismes à des nouveautés en matière d'hybrides ou de lignées mis à la disposition des cultivateurs, ceux-ci devront être encouragés dans leurs efforts de sélection et de production de semences de base.
3. Participer à la Commission semencière centrale et aux commissions correspondantes au niveau du district dans l'élaboration des politiques de programme semencier.
4. Construire les installations nécessaires telles que les ateliers de traitement des semences et les magasins, et exploiter les ressources de terrain pour augmenter au maximum la production de semences de bonne qualité.

Les politiques d'aide au développement d'une industrie semencière forte doivent comprendre :

1. Possibilités pour tous de vendre des graines certifiées ou non-certifiées en libre compétition dans le cadre de la législation semencière à des prix rémunérateurs et compétitifs.
2. Encouragement au développement de programmes solides d'amélioration tant dans le secteur public que privé.
3. Accords pour certifier des hybrides et des variétés d'origine publique aussi bien que privée.
4. Possibilités de vendre des hybrides d'origine publique ou privée après une simple déclaration d'intention de vente. Les ventes des semences de ces hybrides doivent être en accord avec la législation semencière, et, tant que faire se peut, ces semences doivent être certifiées.
5. Appui à des conclusions d'accord de collaboration avec des firmes semencières en-dehors du pays pour disposer des connaissances techniques de celles-ci.
6. Règlements qui empêchent l'instauration d'un monopole d'organismes publics ou privés.
7. Une source de crédits facilement disponible pour les organismes de production, de traitement et distribution pour leur permettre de répondre à des besoins de trésoreries particuliers important à certaines périodes.
8. Disponibilité du germplasma provenant du matériel végétal en sélection des programmes de recherche pour tout citoyen particulier ou toute organisation intéressés.

La Commission de diffusion des variétés

Il est nécessaire pour la diffusion officielle d'un cultivar de recenser les données chiffrées concernant un nouvel hybride ou une nouvelle lignée pour déterminer son caractère unique et sa place pour le paysan. La Commission de diffusion des variétés doit se composer de scientifiques, de gens de l'industrie, de gestionnaires, tous capables de juger les mérites d'un nouveau cultivar candidat mais non impliqués dans sa mise au point. L'obteneur, sélectionneur ou tout autre personne compétente, peut défendre la demande de diffusion devant la Commission. Les fonctions de celle-ci sont :

1. Être responsable de la diffusion des hybrides et des lignées issus des institutions gouvernemen-

tales et d'autres agences publiques (Faculté d'Agriculture). La décision de diffusion doit être fondée sur le mérite et le caractère unique (l'apport du cultivar n'est-il pas déjà fourni par une lignée existante ou un hybride?). Ces avantages peuvent être l'adaptation à une zone différente, la résistance à des maladies, une meilleure qualité de grain, etc., aussi bien que le rendement. En fait ce mécanisme permet de diminuer le nombre de types voisins qui atteindraient le marché.

2. Fournir les proforma de demande de diffusion d'une lignée ou d'un hybride. L'autorisation de diffusion ne dépend pas seulement des qualités propres du candidat, mais aussi de la disponibilité d'une quantité raisonnable de graines de pré-base (10 à 20 kgs) ou de graines des parents d'un hybride.
3. Déterminer à qui incombe la responsabilité du maintien et de la conservation des semences de pré-base. En règle générale, elle revient à l'obteneur, sélectionneur ou organisme.
4. Notifier de façon formelle que la lignée ou l'hybride a été diffusée. Cette déclaration formelle mentionne que l'agence pour la conservation des semences de base peut produire la semence de base (elle produira en général une petite quantité de semences en prévision de la diffusion de façon à pouvoir fournir des lots d'échantillons aux producteurs). Elle signale aussi à l'agence de certification que le cultivar convient pour la production dans les programmes de certification.
5. Fournir au programme de certification l'information concernant la description des caractéristiques morphologiques des lignées diffusées et des parents hybrides. Ceci pour mettre l'agent de certification à même d'identifier les pieds indésirables dans les parcelles de production.
6. Retirer les lignées et les hybrides "dépassés" de la liste des candidats à la certification des semences.
7. Faire paraître une courte notice dans la presse et (ou) publier un bref article sur la lignée ou hybride diffusé, le porter comme il se doit au crédit des obtenteurs et des organismes responsables de la mise au point de la nouvelle lignée ou du nouvel hybride.

L'Agence pour la conservation des semences de base

Au début, une Agence de conservation des semences de base, créée en tant qu'opération semi-

étatique, peut entreprendre un certain nombre d'actions pour aider à l'animation d'un programme semencier. Elle devra s'efforcer de :

1. Maintenir un programme dynamique de semences de base de haute qualité.
2. Organiser une section spéciale offrant ses services pour la construction d'usines de traitement des semences et leur fonctionnement ainsi que pour la mise en valeur agricole par l'irrigation et le drainage. Fréquemment, on ne sait pas où s'adresser pour de tels services et cette section peut apporter une contribution capitale au développement d'une industrie semencière. Elle peut accélérer le développement en fournissant des spécifications pour l'équipement; en suscitant les demandes en matière de machines employées pour la construction et les offres; en agissant comme représentant des fabricants en mettant en contact fabricants et consommateurs; en aidant au maintien des normes de production grâce à un service de renseignements à l'usage des consommateurs et en fournissant des avis autorisés sur les plans et les constructions des usines. Un service de renseignements qui pourrait aider les producteurs de semences à déterminer comment organiser au mieux l'irrigation et le drainage sur leurs exploitations pourrait s'avérer une contribution considérable. Ce service pourrait les aider à déterminer les systèmes d'irrigation les plus efficaces en raison de leurs besoins; l'équipement nécessaire et les coûts d'investissement; ainsi que les firmes susceptibles d'exécuter le travail et les sources d'approvisionnement.
3. Agir en tant que représentant des fabricants, éventuellement moyennant commission, pour la vente de l'équipement et du matériel de production et de traitement des semences. Donner des directives aux fabricants en ce qui concerne les types d'équipement nécessaires et la qualité désirée.
4. Organiser un service de conseil commercial qui met en contact acheteur et vendeur et apporte son aide aux organismes pour mettre sur pied leurs propres programmes de distribution et de vente.
5. Conduire des programmes de formation en matière de production et de traitement des semences. Les nombreux sujets pouvant être inclus dans un tel programme de formation sont énumérés ci-dessous (extraits des manuels de formation de la "National Seeds Corporation", rédigés à l'usage des programmes de formation en Inde). A noter qu'il faut aussi prévoir des péri-

odes nombreuses de travaux pratiques pour enseigner le réglage du matériel agricole et des équipements de traitement, le calibrage des pulvérisateurs, etc. Cette formation peut inclure une expérience outre-mer pour les individualités retenues pour les postes clés et l'attribution de bourses d'étude pour des jeunes prometteurs.

Sujets pouvant être inscrits en un programme de formation :

Recensement des recherches en amélioration de plantes pour les cultures inscrites au programme de production semencière; aménagement et apianissement des terres; matériel motorisé pour ces opérations et le développement de l'irrigation superficielle; directives d'irrigation; modes d'irrigation : à la raie, à la planche, par aspersion, etc; nutrition végétale et détermination des besoins en engrais; sols et nutrition de la plante; macroéléments des engrais; diagnose des carences alimentaires chez les plantes; fonctionnement et entretien des divers types de planteuses; culture et lutte contre les adventices; protection contre les insectes et les maladies quant aux cultures du programme de production; lutte contre les rongeurs; toxicité des insecticides et des fumigants pour les mammifères; mise sur pied d'une industrie semencière de qualité; viabilité; énergie germinative et dormance chez les semences; maturation des graines; techniques de production pour les cultures au programme de production; quelques points de physiologie appliquée: humidité, température, initiation florale; comment devenir un producteur de semence; établissement d'un programme de certification de semences détaillé et complet; établissement et fonctionnement d'une agence de certification; demande de certification; l'inspecteur de certification des semences; normes de certification pour les diverses cultures du programme de production; traitement et achèvement des rapports d'inspection; relevé cartographique de la parcelle; méthode d'inspection des champs; législation semencière et exploitant; essais de semences; énergie germinative et essais d'énergie germinative; normes minimum de certification pour les cultures au programme de production; identification d'un cultivar—aptitude à déterminer les plants hors-type; battage mécanique; traitement uniforme de conditionnement des récoltes; récolte et séchage; principes de séparation des semences—caractéristiques phy-

siques utilisées dans le nettoyage des semences, classement et séparation avec divers types de machine; traitement des semences—précautions dans l'utilisation des fongicides et des insecticides pour le traitement des graines; utilisation d'un désinfecteur de semences par empâtage; recommandations pour le traitement des semences; transporteurs de semences; machine à fermer les sacs; lésions mécaniques des semences—causes et effets; installations de traitement des semences; solutions pratiques aux problèmes de stockage des semences : séchage, stockage et emballage des semences pour conserver le taux de germination et l'énergie germinative; économie de la production, du traitement et de la distribution des semences; relations publiques, art de vendre, publicité; auto-régulation dans les affaires; accords pour aider au financement des entreprises semencières.

Les fonctions de cette Agence pour la conservation des semences de base concernent tous les pays. L'existence de liaisons étroites entre le siège de l'agence et le personnel local est important; le contact direct sur le terrain grâce à des visites d'agents du siège y contribuera. L'organisation de stages périodiques de recyclage et de séminaires aidera les membres les plus âgés du personnel à rester au courant des nouveautés.

Prévoir une mobilité convenable et un soutien actif pour le personnel de terrain est une nécessité pour mener à bien un travail efficace.

Même si l'Agence pour la conservation des semences de base est créée à l'origine pour apporter son soutien à la réalisation d'un programme semencier, la production de semences de base par d'autres agences tant publique que privée doit être encouragée et aidée. Les sociétés privées entreprenant éventuellement leurs propres recherches désireront organiser la production de leurs propres semences de base. Produire des semences de base peut représenter une charge suffisamment importante pour que la mise en fonctionnement d'unités semencières dans les districts, provinces ou états puisse être souhaitable. Aucune agence ne doit avoir de monopole de production des semences de base pour le bien, à long terme, de l'industrie semencière.

Parfois la production locale de semences peut excéder la demande locale ou au contraire une culture peut échouer suite aux conditions climatiques, etc., dans une région du pays. Un bureau de régulation pour aider à faire passer les graines d'une zone pléthorique à une zone où il y a pénurie sera très

utile. Les semences ne devront pas être soumises aux mêmes règlements que les grains dans le cas de l'existence de règlements pour ces derniers.

Prévoir un service de consultation sur le développement du marché peut être utile en aidant les producteurs à créer des organismes indépendants de production/commercialisation.

En clair, de nombreux services nécessaires au développement d'un bon programme semencier peuvent être mis en route par l'Agence pour la conservation des semences de base. Un grand nombre des fonctions évoquées pourrait finalement être assuré par d'autres agences ou sociétés (telles que sociétés de mise en valeur du terrain) et ce processus pourrait être encouragé.

195

Annexe 2

Descripteurs du sorgho

Les spécialistes du sorgho travaillant en collaboration avec le Conseil international des ressources phylogénétiques (IBPGR) se sont efforcés d'identifier des caractéristiques morphologiques et économiques utiles pour décrire les "entrées" dans la collection mondiale. On a pu dresser la liste ci-dessous; dans de nombreux cas l'information est également utile au sélectionneur prenant des notes dans sa parcelle de sélection ou lors d'essais de rendement.

1. Identification de l'entrée

- 1.1. Numéro IS : Chaque entrée dans la banque de gènes du sorgho sera identifiée par son numéro IS (International Sorgho).
- 1.2. Autre numéro : Il s'agit du numéro attribué par d'autres institutions de différents pays soit PI, MN, E, EC, etc.
- 1.3. Origine de l'entrée : Nom de l'institution et du pays qui ont fourni le matériel végétal.
- 1.4. Nature de l'entrée :
 - Ao = Issue d'une récolte brute de variétés indigènes (semence d'origine)
 - An = Issue de variétés indigènes ayant été multipliées "n" fois
 - EL = Ayant déjà été mise en essai (race locale sélectionnée)
 - EB = Ayant déjà été mise en essai (lignée de sélectionneur)
 - UN = Origine inconnue
- 1.5. Nom local/Pedigree : Dans le cas de Ao et An : nom local; dans le cas de EL ou EB : nom pedigree.
- 1.6. Nom(s) de la banque : Nom(s) du germplasma
Banque(s) où l'entrée est stockée

2. Données des collections au champ

- 2.1. Numéro de collection : Abréviation en trois lettres du nom du récolteur suivi d'un nombre maximum de cinq chiffres. Exemple : KEP 00332.
- 2.2. Date de la collection : La date de récolte d'une entrée particulière est exprimée numériquement en quatre chiffres (mois et année). Exemple : juillet 1977 = 0777.
- 2.3. Pays : Abréviation du pays d'origine en se servant des abréviations utilisées aux Nations Unies.
- 2.4. Province : Nom de la subdivision territoriale du pays.
- 2.5. Localité précise : Direction et nombre de kilomètres du village ou de la zone repérée sur la carte routière. Exemple : 25N Babati.

- 2.6. Latitude : En degrés (deux chiffres) et minutes (deux chiffres) suivie de N ou S.
- 2.7. Longitude : En degrés (trois chiffres) et minutes (deux chiffres) suivie de E ou O.
- 2.8. Altitude : Altitude au-dessus du niveau de la mer exprimée en mètres jusqu'à quatre chiffres.
- 2.9. Code climatique (classification climats de Troll) : Troll a classé les climats tropicaux sur la base de grands groupements selon la pluviométrie en relation avec l'évapotranspiration potentielle.
- V1 = Climats tropicaux humides à saison des pluies de 12 à 9 mois et demi de mois humides, avec de courtes interruptions. Forêts semper virens tropicales et forêts semi-caduques de transition.
 - V2 = Climats tropicaux à été humide avec 9 mois et demi à 7 mois humides; forêts ombrophiles et savanes à graminées humides.
 - V2a = Climats tropicaux à hiver humide avec 9 mois et demi à 7 mois humides; forêts semi-caduques de transition.
 - V3 = Climats tropicaux avec 7 à 4 mois et demi humides, forêts ombrophiles sèches et savanes sèches.
 - V4 = Climats tropicaux secs avec 4 mois et demi à 2 mois humides; forêts tropicales épineuses ou succulentes, et savanes.
 - V4a = Climats tropicaux secs avec mois d'hiver humides.
 - V5 = Climats tropicaux semi-désertiques et désertiques avec moins de 2 mois humides : déserts tropicaux ou semi-déserts.
- (Un mois humide est par définition un mois durant lequel la pluviométrie moyenne dépasse l'évapotranspiration potentielle).
- 2.10. Code climatique (pluviométrie) :
- 1 = Moins de 450 mm
 - 2 = 450-650 mm
 - 3 = 650-900 mm
 - 4 = Au-dessus de 900 mm
- 2.11. Code climatique (répartition des pluies) :
- 1 = Uniforme
 - 2 = Unimodal
 - 3 = Bimodal
- 2.12. Code climatique (pluviométrie régulière ou capricieuse) :
- A = Régulière
 - E = Capricieuse
- 2.13. Techniques culturales :
- D = Culture sèche
 - I = Culture irriguée
 - F = Culture en submersion
 - T = Repiquage
- 2.14. Origine de l'échantillon:
- F = Collection vivante
 - S = Echantillon de semences d'un paysan
 - M = Echantillon collecté dans un marché

2.15. Groupe ethnique : Nom de la tribu ou du groupe ethnique vivant dans la zone où l'entrée a été collectée, si possible.

3. Données d'évaluation taxonomique et morphologique

3.1. Classification :

- B = Bicolor
- G = Guinea
- C = Caudatum
- K = Kafir
- D = Durra
- GB = Guinea bicolor
- CB = Caudatum bicolor
- KB = Kafir bicolor
- DB = Durra bicolor
- GC = Guinea caudatum
- GK = Guinea kafir
- GD = Guinea durra
- KC = Kafir caudatum
- DC = Durra caudatum
- KD = Kafir durra
- AR = Arundinaceum
- VG = Virgatum
- VE = Verticilliflorum
- AE = Aethiopicum
- PQ = Propinquum
- SH = Shattercane
- TW = Tétraploïde spontané
- AN = Hors-type

3.2. Nom du groupe :

- Rx = Roxburghii
- Sh = Shallu
- Ka = Kaoliang
- Br = Broomcorn
- Ft = Feterita
- Ng = Nigricans
- Do = Dobbs
- Kr = Kaura
- Zr = Zera-Zera
- Nd = Nandyal
- Md = Maldandi
- MI = Milo
- Sg = Sudangrass
- Mb = Membranaceum
- Kf = Kafir
- Hg = Hegari
- Dr = Durra
- Wn = Wani
- Ca = Cane
- Gg = Grain grass
- Pg = Patcha jonna (sorghos à péricarpe jaune)
- Fr = Fara-Fara

(On notera que cette liste est évidemment incomplète et qu'elle peut s'allonger le moment venu).

- 3.3. Egrenage : CS = Egrenage total
MS = Egrenage moyen
NS = Pas d'égrenage
- 3.4. Couleur du plant : P = Coloré
T = Tan (bronzé)
- 3.5. Succulence de la tige: J = Juteuse
D = Sèche (non juteuse)
- 3.6. Saveur de la tige : S = Sucrée
I = Insipide
- 3.7. Couleur de la nervure médiane : C = Incolore (blanche)
D = Vert mat
Y = Jaune
B = Brun
- 3.8. Compacité et forme de la panicule (Fig. A2.1) : 1 = Panicule très lâche typique des sorghos sauvages
2E = Très lâche à ramifications primaires érigées
2D = Très lâche à ramifications primaires retombantes
3E = Lâche à ramifications primaires érigées
3D = Lâche à ramifications primaires retombantes
4E = Demi-lâche à ramifications primaires érigées
4D = Demi-lâche à ramifications primaires retombantes
5 = Demi-compacte elliptique
6 = Elliptique compacte
7 = Ovale compacte
8 = Demi sorgho à balai
9 = Sorgho à balai
- 3.9. Couleur de la glume : W = Blanche
S = Terre de Sienne (jaune)
M = Acajou (brun)
R = Rouge
P = Pourpre
B = Noire
G = Grise
- 3.10. Couverture du grain (Fig. A2.2) : 1 = Grain nu
2 = $\frac{1}{4}$ grain recouvert
3 = $\frac{1}{2}$ grain recouvert
4 = $\frac{3}{4}$ grain recouvert
5 = Grain complètement recouvert
- 3.11. Aristation (à maturité) : A = Aristé
L = Non aristé
- 3.12. Couleur du grain : 1 = Blanc
2 = Jaune
3 = Rouge
4 = Brun
5 = Chamoix
- 3.13. Poids de 100 grains : Le poids de 100 grains en grammes, déterminé avec une teneur en eau égale à ou moins que 12%.

- 3.14. Texture de l'endosperme (Fig. A2.3) :
- 1 = Complètement corné
 - 2 = Presque corné
 - 3 = Partiellement corné
 - 4 = Presque farineux
 - 5 = Complètement farineux
- 3.15. Couleur de l'endosperme :
- W = Blanc
 - Y = Jaune
- 3.16. Brillant du grain :
- L = Luisant
 - N = Non luisant
- 3.17. Présence d'une sous-couche :
- P = Présence
 - A = Absence
- 3.18. Forme du grain (Fig. A2.4) :
- D = Présence d'une fossette (fovéolé)
 - P = Régulièrement convexe (non fovéolé)
- 3.19. Forme de la graine (Gemellation, Fig. A2.5) :
- T = Jumelée
 - S = Simple

4. Données d'évaluation agronomique

- 4.1. Site d'évaluation : Localisation de l'organisme de recherche en abrégé
- 4.2. Date de semis : Jour, mois, année (en 2 chiffres pour chaque terme)
- 4.3. Vigueur de la jeune plantule : Évaluée 15 jours après levée
- 1 = Très bonne
 - 2 = Bonne
 - 3 = Moyenne
 - 4 = En-dessous de la moyenne
 - 5 = Médiocre
- 4.4. Hauteur du plant (Fig. A2.6) : Mesure de la hauteur moyenne d'une rangée en cm de la base jusqu'à l'extrémité de l'épi. Mesure à 50% de floraison et juste avant récolte.
- 4.5. Nombre de jours à 50% de floraison : Nombre de jours écoulés entre la date moyenne de levée et la date où 50% des plants dans la parcelle commencent à fleurir.
- 4.6. Photosensibilité :
- I = Insensible
 - M = Moyennement sensible
 - S = Hautement sensible
- (A observer plus tard en se basant sur les rapports des hauteurs et les rapports du nombre de jours pour avoir 50% de floraison chez les plants cultivés en saison "kharif" (été-jours longs) et ceux cultivés en saison "rabi" (hiver-jours courts.)
- 4.7. Nombre moyen de talles fleuries : Nombre moyen de tiges fleuries chez 10 plants (la tige principale étant la talle).
- 4.8. Synchronisme de la floraison (tige principale et talles fleurissant en même temps) :
- S = Floraisons synchrones
 - N = Floraisons non synchrones
- 4.9. Exsertion et crossage du pédoncule (Fig. A2.7) :
- 1 = Bonne exsertion de plus de 10 cm entre la ligule de la feuille paniculaire et la base de la panicule
 - 2 = Exsertion de 2 à 10 cm entre la ligule de la feuille paniculaire et la base de la panicule

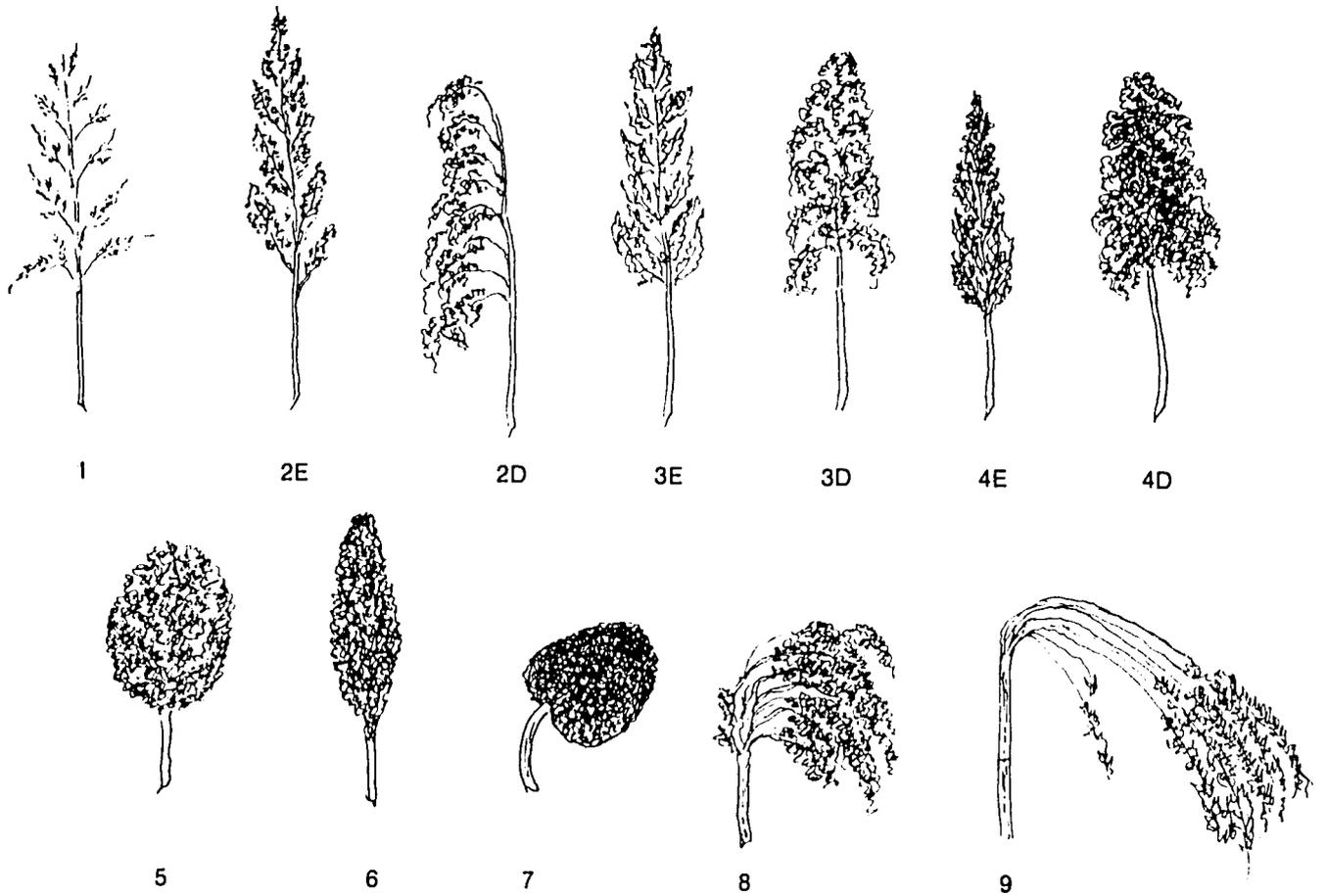


Figure A2.1: Compacité et forme de la panicule.

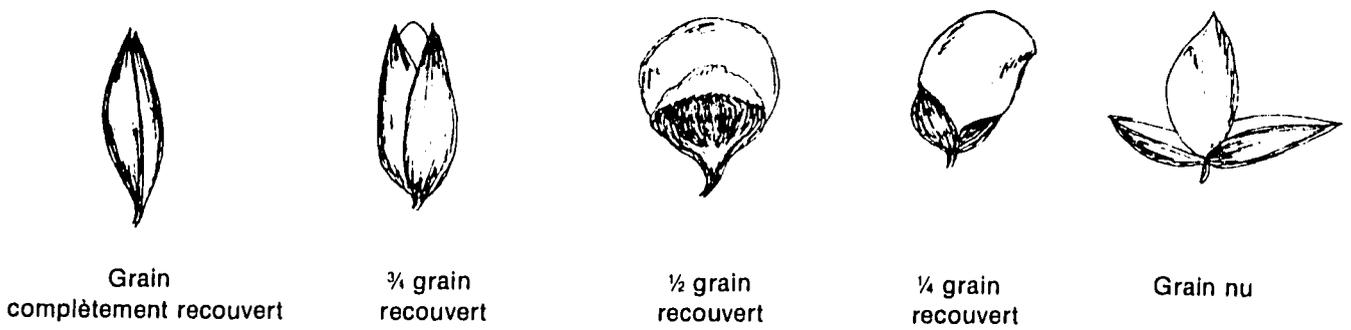


Figure A2.2: Couverture du grain.

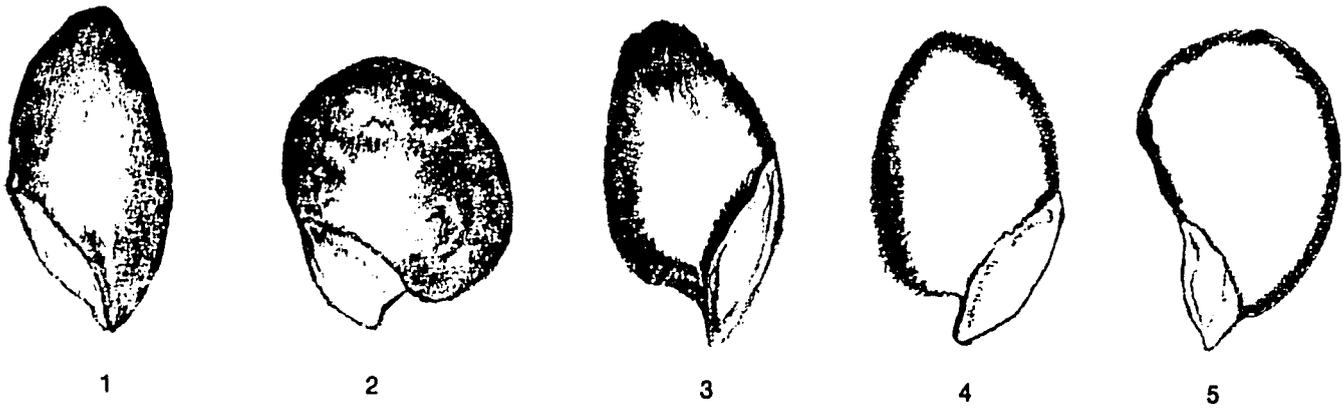


Figure A2.3: Texture de l'endosperme.

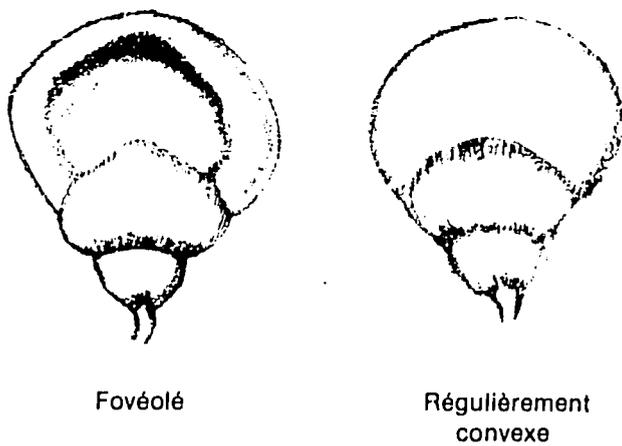


Figure A2.4: Forme du grain.

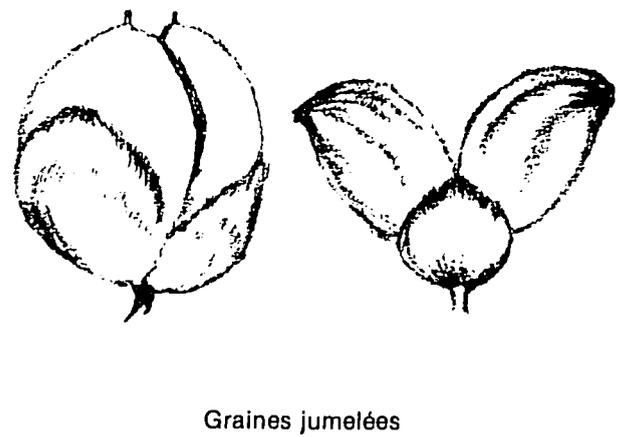
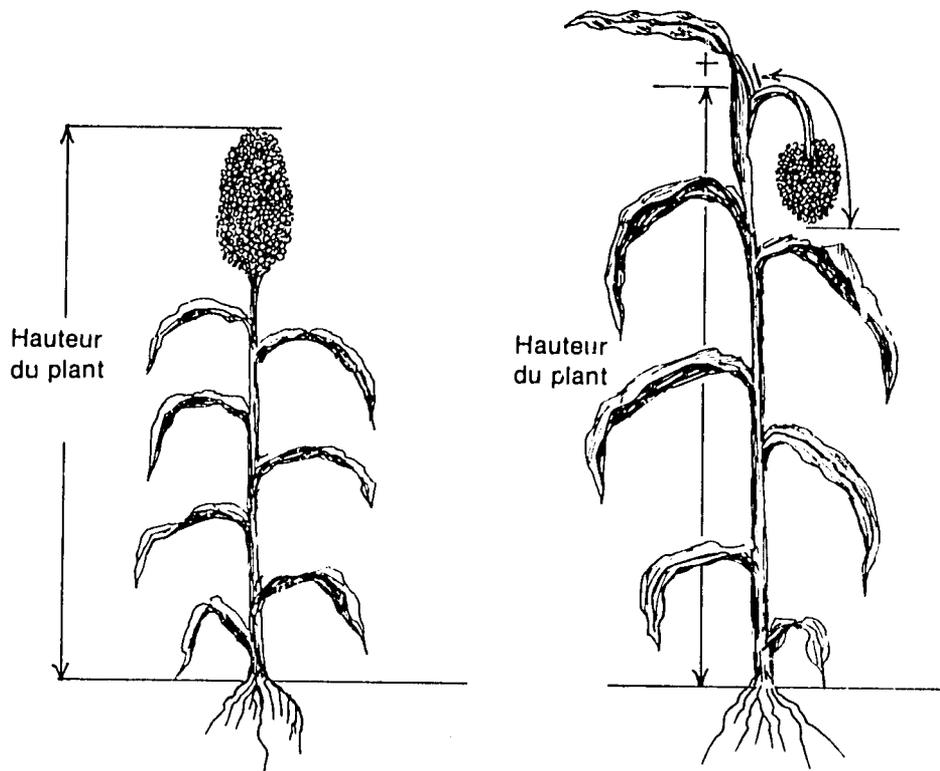


Figure A2.5: Forme de la grainc.



A2.6: Hauteur du plant.



Figure A2.7: Exsertion et crossage du péduncule.

- 3 = Exsertion de moins de 2 cm, mais ligule en-dessous de la base de la panicule
 4 = Pédoncule en crosse, avec la panicule située en-dessous de la ligule et bien dégagée, le pédoncule fendant la gaine
 5 = Panicule non dégagée de la gaine foliaire
- 4.10. Longueur de la panicule : Mesurée (en cm) de la base au sommet de la panicule
- 4.11. Largeur de la panicule : Mesurée (en cm) en position naturelle au niveau de plus grande largeur
- 4.12. Aptitude du battage :
 1 = Battage facile
 0 à 10% de grains non battus
 2 = Battage incomplet
 10 à 50% de grains non battus
 3 = Battage difficile
 Plus de 50% de grains non battus
- 4.13. Dureté du grain : Force (en kilogrammes) nécessaire pour faire craquer le grain
- 4.14. Verse :
 1 = 1-10% de plants versés
 2 = 10-25% de plants versés
 3 = 25-50% de plants versés
 4 = 50-75% de plants versés
 5 = 75-100% de plants versés
- 4.15. Comportement vis-à-vis vis des intempéries :
 1 = Très bon
 2 = Bon
 3 = Moyen
 4 = En-dessous de la moyenne
 5 = Médiocre
- 4.16. Aspect général de la plante :
 1 = Très bon
 2 = Bon
 3 = Moyen
 4 = En-dessous de la moyenne
 5 = Médiocre

5. Données d'évaluation de résistance aux ennemis de la culture

Les valeurs données ci-dessous doivent être suivies de N ou A pour préciser : N = Condition d'infestation naturelle, A = Condition d'infestation artificielle.

Mouche des pousses

5.1. *Atherigona soccata* (Rondani)

- 5.1.1. Coeurs morts à 28 jours :
 1 = Aucun
 2 = 1-10%
 3 = 11-25%
 4 = 26-40%
 5 = Plus de 40%

Foreurs de la tige

5.2. *Chilo partellus* (Swinhoe)

- 5.2.1. Importance des dégâts au bout de 5 semaines :
 1 = Pas de dommage foliaire
 2 = 1-10% des plants ayant au moins une feuille touchée

- 3 = 11-25% des plants ayant au moins une feuille touchée
4 = 26-40% des plants ayant au moins une feuille touchée
5 = Plus des 40% de plants ayant au moins une feuille touchée
- 5.2.2. Coeurs morts à 7 semaines :
- 1 = Aucun
2 = 1-10%
3 = 11-25%
4 = 26-40%
5 = Plus de 40%
- 5.2.3. Importance des galeries à la récolte :
- 1 = Aucune galerie
2 = N'atteignant qu'un noeud
3 = Traversant un noeud
4 = Traversant 2 ou 3 noeuds
5 = Traversant plus de 3 noeuds
- 5.3. *Busseola fusca* (Futier)
- 5.3.1. Dommages à 5 semaines :
- 1 = Aucun dommage foliaire
2 = 1-10% des plants ayant au moins une feuille touchée
3 = 11-25% des plants ayant au moins une feuille touchée
4 = 26-40% des plants ayant au moins une feuille touchée
5 = Plus de 40% des plants ayant au moins une feuille touchée
- 5.3.2. Coeurs morts à 7 semaines :
- 1 = Aucun
2 = 1-10%
3 = 11-25%
4 = 26-40%
5 = Plus de 40%
- 5.3.3. Importance des galeries à la récolte :
- 1 = Aucune galerie
2 = Limitée à un noeud
3 = Un noeud traversé
4 = Deux ou trois noeuds traversés
5 = Plus de trois noeuds traversés
- 5.4. *Sesamia cretica* (Led.)
- 5.4.1. Dégâts à 5 semaines :
- 1 = Aucun dégât foliaire
2 = 1-10% des plants ayant au moins une feuille touchée
3 = 11-25% des plants ayant au moins une feuille touchée
4 = 26-40% des plants ayant au moins une feuille touchée
5 = Plus de 40% des plants ayant au moins une feuille touchée
- 5.4.2. Coeurs morts à sept semaines :
- 1 = Aucun
2 = 1-10%
3 = 11-25%
4 = 26-40%
5 = Plus de 40%

- 5.4.3. Importance des galeries à la récolte :
- 1 = Aucune galerie
 - 2 = Limitée à un noeud
 - 3 = Un noeud traversé
 - 4 = Deux ou trois noeuds traversés
 - 5 = Plus de trois noeuds traversés
- 5.5. *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
- 5.5.1. Dégâts à 5 semaines :
- 1 = Aucun dégât foliaire
 - 2 = 1-10% des plants ayant au moins une feuille touchée
 - 3 = 11-25% des plants ayant au moins une feuille touchée
 - 4 = 26-40% des plants ayant au moins une feuille touchée
 - 5 = Plus de 40% des plants ayant au moins une feuille touchée
- 5.5.2. Coeurs morts à 7 semaines :
- 1 = Aucun
 - 2 = 1-10%
 - 3 = 11-25%
 - 4 = 26-40%
 - 5 = Plus de 40%
- 5.5.3. Importance des galeries à la récolte :
- 1 = Aucune galerie
 - 2 = Limitée à un noeud
 - 3 = Un noeud traversé
 - 4 = Deux ou trois noeuds traversés
 - 5 = Plus de trois noeuds traversés
- 5.6. Autres foreurs de la tige : Dégâts cotés de 1 à 5
- Parasites de la panicule**
- 5.7. Cécidomyie du sorgho, *Contarinia sorghicola* (Coquillett) :
- 1 = Aucun grain endommagé
 - 2 = 1-10% des grains endommagés
 - 3 = 11-25% des grains endommagés
 - 4 = 26-40% des grains endommagés
 - 5 = Plus de 40% des grains endommagés
- 5.8. Punaise de la panicule, *Calocoris angustatus* (Leth.) :
- 1 = Aucun grain ratatiné
 - 2 = 1-10% des grains ratatinés
 - 3 = 11-25% des grains ratatinés
 - 4 = 26-40% des grains ratatinés
 - 5 = Plus de 40% des grains ratatinés
- 5.9. Ver de la capsule du cotonnier, *Heliothis armigera* (Hubner): Dégâts cotés de 1 à 5
- 5.10. Ver américain de la capsule du cotonnier, *Heliothis Zea* (Boddie) : Dégâts cotés de 1 à 5
- 5.11. Autres parasites de la panicule : Dégâts cotés de 1 à 5
- Parasites de la feuille (Insectes)**
- 1 = Aucune feuille attaquée
 - 2 = 1-10% des plants ayant au moins une feuille attaquée
 - 3 = 11-25% des plants ayant au moins une feuille attaquée
 - 4 = 26-40% des plants ayant au moins une feuille attaquée
 - 5 = Plus de 40% des plants ayant au moins une feuille attaquée

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 5.12. <i>Spodoptera exempta</i>
(Walker) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.13. <i>Spodoptera frugiperda</i>
(J.E. Smith) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.14. <i>Mythimna separata</i>
(Walker) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.15. Puceron vert, <i>Schizaphis</i>
<i>graminum</i> (Rondani) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.16. Puceron du maïs,
<i>Rhopalosiphum maidis</i>
(Fitch) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.17. Puceron jaune du mil,
<i>Melanaphis sacchari</i>
(Zehntner) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.18. <i>Blissus leucopterus</i> (Say) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.19. <i>Phyllophaga crinita</i>
(Burmeister)
<i>Schizonycha</i> (spp.)
<i>Holotrichia consanguinea</i>
(Blanch) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.20. <i>Celama sorghiella</i>
(Riley)
<i>Stenachroia elongella</i>
(Hamps)
<i>Eublemma</i> (sp.) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |

Parasites de la feuille (acariens)

- 1 = Aucun dégât
- 2 = 1-10% des plants ayant au moins une feuille attaquée
- 3 = 11-25% des plants ayant au moins une feuille attaquée
- 4 = 26-40% des plants ayant au moins une feuille attaquée
- 5 = Plus de 40% des plants ayant au moins une feuille attaquée

- | | |
|-------------------------------------------------|-----------------------|
| 5.21. <i>Oligonychus indicus</i>
(Hirst) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.22. <i>Oligonychus pratensis</i>
(Banks) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 5.23. Autres acariens
phytophages : | Dégâts cotés de 1 à 5 |

6. Données d'évaluation de résistance aux maladies

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 6.1. Pourriture charbonneuse,
<i>Macrophomina</i>
<i>phaseolina</i> (Tassi) Goid : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 6.2. Mildiou,
<i>Peronosclerospora sorghi</i>
(Kulk) Weston et Uppal : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.3. Helminthosporiose,
<i>Exserohilum</i>
<i>turcicum</i> (Pass.) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.4. Anthracnose,
<i>Colletotrichum</i>
<i>graminicola</i>
(Lesati) Wilson : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.4.1. Feuillage : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.4.2. Panicule : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.5. Maladie des grains
de sable, <i>Ascochyta</i>
<i>sorghina</i> (Saccardo) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.6. Maladie des taches
grises, <i>Cercospora sorghi</i>
(Ellis et Everhart) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.7. Maladies des bandes de
suie, <i>Ramulispora sorghi</i>
(Ellis et Everhart)
Olive et Lefebvre : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.8. Rouille, <i>Puccinia purpurea</i>
(Cooke) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.9. Maladie des taches zonées,
<i>Gloeocercospora sorghi</i>
(Barn et Edgerton) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.10. Maladie des raies
bactériennes,
<i>Pseudomonas andropogoni</i>
(E.F. Smith) Stapp : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.11. Bactériose,
<i>Pseudomonas syringae</i>
(Van Hall) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.12. Mosaïque de la canne
à sucre et mosaïque
nanisante du maïs : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.13. Moisissures du grain,
<i>Fusarium</i> spp.
<i>Curvularia</i> spp. : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.14. Moisissures du grain,
<i>Phoma</i> spp. : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.15. Ergot, <i>Sphacelia</i>
<i>sorghii</i> (McRae) : | Dégâts cotés de 1 à 5 |
| 6.16. Charbon couvert, | Dégâts cotés de 1 à 5 |

- Sphacelotheca sorghi*
(Link) Clinton :
- 6.17. Charbon allongé,
Tolyposporium ehrenbergii
(Kuhn) Patouillard : Dégâts cotés de 1 à 5
- 6.18. Charbon de la panicule,
Sphacelotheca reiliana
(Kuhn) Clinton : Dégâts cotés de 1 à 5
- 6.19. Charbon nu, *Sphacelotheca*
cruenta (Kuhn) Potter : Dégâts cotés de 1 à 5
- 6.20. Autres maladies Dégâts cotés de 1 à 5

7. Divers

- 7.1. *Striga asiatica*
(Linn) Kuntze :
1 = Pas de dégâts
2 = 1-10% des plants touchés
3 = 11-25% des plants touchés
4 = 26-40% des plants touchés
5 = Plus de 40% des plants touchés
- 7.2. *Striga hermonthica* (Benth.) : Dégâts cotés de 1 à 5
- 7.3. Résistance à la
sécheresse : Dégâts cotés de 1 à 5
- 7.4. Résistance à la
salinité : Dégâts cotés de 1 à 5
- 7.5. Tolérance au froid
(plantule) : Dégâts cotés de 1 à 5
- 7.6. Tolérance au froid
(reproduction) : Dégâts cotés de 1 à 5
- 7.7. Non senescence (Feuilles
vertes à maturité des graines) :
1 = Toutes les feuilles vertes
2 = Quelques feuilles de la base mortes
3 = A peu près la moitié des feuilles mortes
4 = Plus de la moitié des feuilles mortes
5 = Totalité des feuilles mortes
- 7.8. Réponse à la restauration
(avec la variété milo) :
R = Restaurateur
P = Restaurateur partiel
B = Non restaurateur
- 7.9. Mâle-stérile (systèmes
cytoplasmiques) :
1 = Milo
2 = Texas
3 = Maldandi
- 7.10. Complexe à pH faible :
N = Résistant
Y = Sensible
- 7.11. Qualité du grain :
N = Normal
W = Cireux
S = Sucré
P = Forte teneur en protéines
L = Forte teneur en lysine
T = Forte teneur en tannin

Glossaire*

- adventice = weed**
plante "qui n'est pas à sa place". Toute plante poussant dans une culture où elle est indésirable.
- adventif = adventitious**
provenant d'une tige ou d'une touffe de céréale; terme souvent utilisé pour les racines, "racines adventives".
- aflatoxines = aflatoxins**
composés toxiques métabolisés par des races d'*Aspergillus flavus*, groupe *oryzae*, qui sont cancérogènes pour divers animaux domestiques ou de laboratoire, y compris des primates. Du point de vue chimique ce sont des dérivés de la difurano-coumarine.
- allée = alleyway**
espace non cultivé séparant deux (ou plus) blocs ou parcelles cultivés dans un champ. Ordinairement utilisée pour les manoeuvres des engins agricoles et pour la circulation des observateurs.
- allèle = allele**
l'une des expressions possibles d'un gène paire ou d'une série de gènes correspondant à un locus donné d'un chromosome.
- allèles multiples = multiple alleles**
allèles au nombre de trois ou plus pouvant être présents à un locus donné.
- allèle récessif = recessive allele**
1. allèle non exprimé au stade hétérozygote lorsqu'un allèle dominant est présent sur le même locus de l'autre chromosome homologue.
 2. allèle dont l'effet est masqué par un autre. Spécifiquement un allèle dont les effets sont masqués par un allèle dominant.
- allopolyploïde = allopolyploid**
polyploïde ayant deux génomes distincts combinés au sein du même noyau.
- anaphase = anaphase**
stade de la division cellulaire durant lequel les chromatides des chromosomes se séparent et se regroupent vers les pôles opposés de la cellule.
- aneuploïdie = aneuploidy**
type de polyploïdie chez laquelle un ou plusieurs chromosomes manquent ou sont en nombre double dans le noyau (par exemple, $2n-2n$, $2n+1$, etc.).
- anthère = anther**
pièce mâle de la fleur, au sein de laquelle se forme le pollen.
- aptitude à la combinaison = combining ability**
performance d'un plant individuel dans une série de croisements (aptitude générale) ou dans un croisement spécifique (aptitude particulière) par extension du sens.
- autofécondation = self-fertilization, selfing**
1. littéralement, fécondation d'un gamète femelle par un grain de pollen de la même plante.
 2. terme utilisé en amélioration des plantes désignant l'autopollinisation naturelle ou artificielle d'une plante
- autopollinisation = self-pollination**
transfert du pollen de l'anthère sur le stigmate de la même fleur ou sur le stigmate d'une autre fleur de la même plante.
- autopolyploïde = autopolyploid**
polyploïde chez qui un génome unique est répété un certain nombre de fois.
- bivalent = bivalent**
paire de chromosomes homologues qui se soude ensemble durant le stade 1 de la méiose.
- bulk = bulk**
population constituée par le mélange des lignées provenant de différents plants sans les séparer et sans faire de sélection afin de conserver les potentiels génétiques de chacun d'entre eux.
- caduc = deciduous**
se dit du feuillage d'arbres ou des plantes, tombant à une saison donnée ou à un stade donné de croissance.

* Les termes français sont accompagnés de leurs équivalents anglais.

- canopie (couvert) = canopy
couvert de feuilles et de branches, résultant de la confluence des sommités ou des couronnes des plantes.
- caractère quantitatif = quantitative character
caractère qui montre une variation continue et ne peut donc faire l'objet d'un classement en classes séparées.
- cellules somatiques = somatic cells
cellules banales d'une plante, qui sont en général diploïdes. N'entrent pas dans cette catégorie les cellules qui donnent naissance aux gamètes.
- centromère = centromere
région du chromosome d'où part le fuseau. Les chromatides sont liées au centromère.
- céréales = cereals
plantes de la famille des graminées cultivées pour leur grain; les grains produits par celles-ci.
- chiasma = chiasma (plur. chiasmata)
point où les chromatides se rejoignent dans un bivalent et où la substitution des segments se fait durant l'enjambement (crossing-over).
- chlorose = chlorosis
jaunissement du feuillage non-saisonnier symptomatique d'un manque de chlorophylle dans les tissus foliaires dans des conditions normales d'éclaircissement.
- chromatide = chromatid
une des deux unités identiques qui se forment lorsque le chromosome se dédouble lors de la méiose ou de la mitose.
- chromosomes = chromosomes
petites structures porteuses de gènes localisées dans le noyau de la cellule. Les chromosomes apparaissent durant la métaphase comme des structures en forme de fil ou de bâtonnet. Chaque espèce a un nombre caractéristique de chromosomes.
- chromosomes homologues = homologous chromosomes
chromosomes ayant la même structure et les mêmes loci et qui s'apparient au cours de la méiose. Chez une plante diploïde, un chromosome homologue de chaque paire provient du parent mâle et l'autre du parent femelle.
- CIRP = IBPGR
Conseil international des ressources phytogénétiques.
- cléistogamie = cleistogamy
pollinisation et fécondation dans une fleur non ouverte.
- climax = climax
communauté végétale du type le plus avancé pouvant se développer dans des conditions dominantes de climat et de sol.
- clone = clone
ensemble des plantes issues d'une unique plante parente par multiplication asexuée. De telles plantes ont donc la même constitution génétique.
- coefficient de corrélation = correlation coefficient
mesure de la corrélation linéaire dont les valeurs varient entre -1 et +1. Une valeur voisine de +1 indique une relation presque parfaitement positive, les valeurs élevées d'une des variables correspondent aux hautes valeurs de l'autre; une valeur voisine de -1 indique une association négative presque parfaite; une valeur voisine de zéro indique l'absence de relation.
- coefficient de variation ou variabilité = coefficient of variation or variability
terme statistique exprimé par le rapport (en fraction ou en pourcentage) de l'écart-type à la moyenne correspondante.
- collection = collection
1. réunion d'échantillons;
2. processus de collecte des ressources germinatives.
- collection de base = basic collection
collection de travail de lignées très soigneusement choisies et stratifiées par race, sous-race, distribution géographique et adaptation écologique.
- collection de bulks = bulks collection
réunion en un ou plusieurs bulks de matériel végétal analogue prélevé en une collection. On peut créer des bulks avec des entrées ayant des caractéristiques spéciales (par exemple: qualitatives ou de résistance). En fait, les entrées dans un bulk doivent présenter des analogies d'origine, de hauteur, de maturité et d'adaptation.

- collection d'introductions = accessions collection
collection dans laquelle chaque graine de chaque entrée est distinguée. Cette précaution diminue les chances de "perte de gènes" due à la suppression de soi-disants doubles et l'occultation de caractères utiles par le mélange des semences en "bulk".
- collection mondiale = collection, world
collection importante d'échantillons de différentes zones géographiques du monde, stockés dans un but de conservation (voir collection d'introductions)
- collection de stocks génétiques = genetic stock collection
stocks génétiques dont on connaît les gènes, les translocations, les inversions, les additions et les substitutions correspondantes et les lignées avec leurs caractéristiques de résistance et tolérance à des races connues de pathogènes, aux insectes et aux adventices.
- collection de travail = working collection
collection d'importance moyenne d'introductions connues, stockées d'une façon rationnelle, référencées et disponibles pour une utilisation immédiate.
- colonisation (pathologie) = colonization (pathology)
invasion des tissus d'une plante-hôte faisant suite à une infection complètement réussie.
- composantes du rendement = yield components
constituants de base du rendement : nombre de panicules, nombre de grains par panicule, poids d'un grain.
- composite = composite
population constituée par des intercroisements (durant trois ou quatre générations) entre variétés parentales sélectionnées en pollinisation ouverte ou entre lignées connues pour leur diversité. Les parents sont retenus en tenant compte de leur performance en elle-même ou de leur aptitude générale à la combinaison. Des populations composites ainsi organisées sont constituées pour être utilisées dans les programmes de sélection récurrente.
- conidie (pathologie) = conidium (pathology)
spore unicellulaire, produite par un processus exogène sur des hyphes spécialisées (conidiophores), servant à la multiplication sexuée du champignon.
- conidiophore = conidiophore
hyphes aériennes spécialisées qui produisent les conidies chez certains champignons (ascomycètes ou imparfaits).
- conservation du germplasma = germplasm conservation
collection et conservation (dans des conditions d'entreposage permanent) des ressources génétiques mondiales.
- conversion = conversion
modification du germplasma des lignées de sorgho tropicales de grande taille photosensibles en celui de lignées plus courtes non-photosensibles par un programme de croisement en retour.
- criblage ou tri = screening
1. séparation de ce qui est inutile de ce qui est souhaitable.
2. recherche de caractères ou de propriétés désirables, par exemple dans le cas de variétés adaptées à des systèmes de culture.
- croisement consanguin = inbreeding
autofécondation ou croisement entre plantes étroitement apparentées pendant une ou plusieurs générations.
- croisement en retour = backcross
(voir rétrocroisement)
- croissance déterminée = determinate growth
un modèle de développement caractérisé par l'achèvement de la phase végétative du cycle et l'entrée ensuite dans la phase reproductive et la maturation de toutes les graines approximativement en même temps.
- crossing-over ou enjambement = crossing over
processus d'échange de segments de chromatide entre chromosomes homologues lors de la méiose 1. Résultat de ce processus quant à la recombinaison de gènes.
- cultivar = cultivar
variété cultivée; population à l'intérieur d'une espèce cultivée suffisamment distinguable des autres populations, ayant pour origine la sélection ou l'hybridation (soit primitive soit avancée).
- culture fourragère = fodder crop
culture destinée à l'alimentation animale.

culture de regain = ratoon crop

culture, issue du redépart de la végétation à partir des chaumes (souches vivantes) après une récolte, pas nécessairement de grain. On peut citer en exemple : la canne à sucre, le sorgho, le riz, le mil, l'avoine et le pois d'Angole.

culture relais = relay cropping

semis d'une seconde culture dans les interlignes d'une première culture encore sur pied, peu de temps avant sa récolte.

cytokinèse = cytokinesis

division du cytoplasme suivant la division du noyau dans la méiose ou la mitose.

cytoplasme = cytoplasm

constituant principal de la cellule au sein duquel le noyau et les autres organites sont logés.

début de flétrissement = incipient wilting

petite perte de turgescence durant une période de temps chaud, alors que le sol est pourtant humide. Elle peut n'être pas décelable à l'oeil nu. Disparaît ordinairement durant la nuit.

déficiencia = deficiency

absence d'un segment de chromosome.

défoliation = defoliation

réduction de la quantité normale de feuillage due à une attaque d'insecte ou de champignon ou à d'autres agressions (pulvérisation); peut être partielle ou totale (ce terme ne s'emploie que pour les feuilles).

densité du couvert = canopy density

expression relative du couvert, ordinairement mesurée par un coefficient décimal, le couvert complètement fermé, étant pris comme unité. On adopte actuellement la classification suivante "fermé" pour 1, "dense" quand le couvert est 0,75 à 1, "tênu" pour 0,50 à 0,75; "ouvert" quand le couvert est inférieur à 0,5.

descendance = progeny

c'est, littéralement, l'ensemble des individus issus d'une unique plante. Cette plante peut avoir été autofécondée, ou fécondée de diverses façons. En sélection récurrente les descendances peuvent être "half-sibs", "full-sibs", réciproquement "full-sibs".

descripteur = descriptor

terme standard utilisé dans le vocabulaire des ressources génétiques pour désigner un caractère.

descripteur (état) = descriptor state

les divers états du descripteur, par exemple s'il s'agit d'une couleur : rouge, pourpre, blanc.

descripteurs de base = minimum descriptors

groupe standard de descripteurs choisis sur une base globale comme suffisants pour évaluer le germoplasme d'une culture donnée.

descripteurs d'évaluation = evaluation descriptors

caractères utilisés pour évaluer une introduction; il s'agit de caractères tant morphologiques qu'agronomiques.

descripteurs passe-partout = passport descriptors

caractères attribués à une introduction lors du processus de collecte.

différence due à la sélection = selection differential

1. différence entre la moyenne de l'échantillon retenu et celle de la population d'où cet échantillon a été tiré.

2. en sélection récurrente la valeur phénotypique moyenne des descendances choisies comme parents (pour la recombinaison) exprimée comme un écart de la moyenne de la population, c'est-à-dire de la valeur phénotypique moyenne de toutes les descendances dans la génération parentale avant sélection. Cette différence est exprimée en pourcentage de la moyenne de la population.

dihybride = dihybrid

hybride résultant du croisement entre parents homozygotes ne différant que de deux loci.

diploïde = diploid

organisme ou cellule à deux garnitures chromosomiques.

division réductrice = reduction division

(voir méiose)

documentation = documentation

système d'enregistrement de données factuelles ou chiffrées concernant les collections de germoplasmes; désigne également les papiers, les cartes perforées, ou les enregistrements magnétiques.

- dominance = dominance
1. situation dans laquelle un allèle (allèle dominant) se manifeste excluant l'allèle opposé (récessif).
 2. caractère dominant : caractère qui se manifeste dans un phénotype en excluant le caractère opposé (récessif).
- double culture = double-cropping
exécution, d'une deuxième culture après récolte de la première culture sur la même pièce de terre durant la saison de culture (un certain recouvrement dans le temps peut exister; voir "culture relais").
- dry farming = dryland farming
technique de production agricole dans des zones à faible pluviométrie basée sur la conservation des précipitations naturelles. Des irrigations de complément peuvent être apportées par collecte de l'eau de ruissellement.
- duplication = duplication
présence d'un segment de chromosome plus d'une fois sur le même chromosome.
- écart type = standard deviation
mesure de la variation moyenne, autour de leur moyenne arithmétique, d'une série d'observations dans une population. Dans des séries normalement distribuées de grandeur moyenne, l'intervalle de la moyenne, \pm écart type inclut environ les deux tiers des observations.
- écologie = ecology
étude des relations mutuelles entre organismes et de leurs relations avec le milieu.
- écosystème = ecosystem
communauté de plantes et d'animaux (hommes compris) dans un habitat donné, avec leurs relations mutuelles.
- écotype = ecotype
race locale (race écologique) dont les génotypes sont adaptés à un habitat spécifique limité par suite de sélection naturelle dans le milieu local.
- embryon = embryo
partie de la graine d'où est issu le système racines-tiges après germination.
- endémique = endemic
se dit d'une maladie existant d'une façon permanente, sous forme bénigne ou sévère, dans une zone donnée (en général un pays ou une partie de pays).
- endosperme = endosperm
tissu nutritif se formant dans le sac embryonnaire par la fusion d'un noyau haploïde du pollen, avec un noyau diploïde du sac embryonnaire.
- ennemi des cultures = pest
tout organisme animal ou végétal connu comme ou supposé être, nuisible aux plantes. Ce terme inclut insectes, nématodes, gastéropodes, bactéries, champignons, virus, mycoplastes, phanérogames et adventices.
- ensachage collectif = cluster bagging
méthode employée à l'ICRISAT pour conserver le germplasma du petit mil (*Pennisetum americanum*), qui consiste à planter un groupe de plants et à ensacher l'ensemble pour faciliter les interfécondations.
- entretien = maintenance
conservation d'une introduction dans son état original par une culture soignée et un stockage convenable.
- environnement ou milieu = environment
ensemble de toutes les conditions externes pouvant agir sur un organisme ou une communauté en influençant leur développement et leur existence.
- éphémère = ephemeral
plante annuelle à cycle court capable de mûrir ses graines en quelques semaines après la germination. Les plantes éphémères ont la possibilité d'éviter les contraintes de la sécheresse en bouclant leur cycle durant une courte période pluvieuse.
- épidémie = epidemic
augmentation, temporaire et d'une certaine extension, de l'incidence d'une maladie infectieuse.
- épidémiologie = epidemiology
étude des facteurs gouvernant l'apparition et l'extension des maladies infectieuses.
- épistasie = epistasis
1. suppression des gènes en un locus donné par un gène dominant en un autre locus.

2. toute interaction entre gènes interallèles.

euploïde = euploid

polyploïde dont le nombre de chromosomes est un multiple exact du nombre chromosomique de base : n.

évaluation = evaluation

processus de détermination du potentiel d'une collection ou d'une introduction.

exotique = exotic

non-originaire d'une zone donnée.

$F_1 = F_1$

la génération issue d'un croisement donné : c'est la première génération.

$F_2 = F_2$

la génération issue de l'autofécondation de la génération F_1 ; la seconde génération.

facteur = factor

terme employé en génétique mendélienne; équivaut à allèle.

facteurs climatiques = climatic factors

rayonnement, éclaircissement, température de l'air, pluviométrie, évaporation, humidité, pression atmosphérique et vents au niveau de la biosphère.

fécondation = fertilization

fusion d'un gamète mâle avec un gamète femelle pour former un zygote.

fécondation non dirigée = random mating

situation dans laquelle chaque plante d'une population a des chances égales de fécondation par une autre plante de la population.

feuille paniculaire = flag leaf

dernière feuille complètement développée chez une céréale. Avant l'émergence de la panicule, la feuille paniculaire entoure la panicule.

fonte des semis = damping off

morbidity et mort de plantules résultant des progrès d'une lésion sur la tige ou l'hypocotyle au niveau du sol, ou d'une colonisation massive des tissus des jeunes plantules.

fouillage = forage

en exploitation des pâtures tout matériau végétal

non récolté susceptible d'être utilisé en alimentation animale. Ce matériau peut être utilisé en pâture ou coupé pour l'alimentation à l'auge. Il peut être conservé après coupe (foin, ensilage).

fréquence (statistique) = frequency (statistics)

nombre d'observations rangées dans une classe d'un lot arbitraire de classes.

full-sib = full-sib

terme utilisé en amélioration des populations. Une famille full-sib comprend la descendance d'un croisement entre deux plants choisis à l'intérieur de la population. En amélioration du sorgho, ce croisement est fréquemment réalisé entre un plant mâle-fertile et un plant mâle-stérile.

full-sib réciproque = reciprocal full-sib

croisements réciproques entre plants sélectionnés de populations différentes, c'est-à-dire croisement $A \times B$ et croisement $B \times A$.

gain = gain

mesure, ordinairement exprimée en pourcentage, donnant la différence enregistrée dans l'expression d'un caractère soumis à sélection, d'une génération à l'autre.

gamète = gamete

cellule reproductrice adulte mâle et femelle. Le gamète mâle est le grain de pollen, le gamète femelle l'oosphère.

gamétogenèse = gametogenesis

formation des gamètes.

gène = gene

unité d'hérédité, localisée dans le chromosome. Les gènes régissent l'expression des caractères soit individuellement, soit en combinaison.

gènes additifs = additive genes

gènes qui n'extériorisent pas de dominance sur les gènes des autres locus, mais ont un effet cumulatif.

gène marqueur = marker gene

gène d'une fonction ou d'une situation connue sur un chromosome.

gène modificateur = modifying gene

gène qui influe sur l'expression d'un autre gène.

- gènes mutables** = mutable genes
gènes présentant un taux très élevé de mutation.
- gène pléiotropique** = pleiotropic gene
gène qui régit plus d'un caractère.
- génération** = generation
un cycle biologique complet. La génération commence à la formation du zygote et se termine à la mort de la plante issue de ce zygote.
- génétique** = genetics
science de l'hérédité et de la variation des caractères.
- génom**e = genome
garniture complète de (n) chromosomes qui proviennent en tant que garniture chromosomique des parents dans les espèces diploïdes.
- génotype** = genotype
constitution génétique de la plante.
- germination** = germination
reprise de la croissance d'une semence ou d'une spore. Ordinairement caractérisée par la déchirure du tégument séminal ou de la paroi de la spore et l'apparition d'une radicule, d'un hypocotyle ou d'un thallus.
- germplasme** = germplasm
tableau complet des cultivars d'une espèce cultivée, avec les espèces sauvages du genre et les hybrides entre espèces sauvages et cultivées.
- grain** = grain
graine d'une denrée agricole après récolte, et destinée (en quantité) à l'usage domestique ou commercial.
- habitat** = habitat
1. ensemble des conditions effectives de milieu dans lequel un organisme vit.
 2. utilisé souvent pour désigner l'aire de distribution d'une espèce.
 3. type de formation dans laquelle vit une plante ou un animal tel que "habitat forestier, habitat prairial", etc.
- half-sib** = half-sib
terme utilisé dans l'amélioration des populations. Une famille half-sib se compose de la descendance d'un croisement entre un mélange de pollen avec un parent sélectionné, qui est le seul parent identifié du croisement. En amélioration du sorgho, le mélange de pollen provient fréquemment d'entrées sélectionnées soit en pollinisation libre en parcelle isolée, soit par croisement manuel avec du pollen en mélange sur des pieds mâle-stériles (les parents sélectionnés).
- haploïde** = haploid
cellule ou organisme ne possédant qu'un seul génome (n chromosomes).
- hectare** = hectare
unité de mesure de surface standard du système métrique; il y a dix mille mètres carrés dans un hectare.
- hérédité** = heredity
transmission des caractères des parents à leur descendance.
- hérédité intermédiaire** = intermediate inheritance
type d'hérédité dans laquelle le plant hétérozygote est différent de l'un et l'autre parent homozygote.
- hérédité quantitative** = quantitative inheritance
hérédité des caractères quantitatifs.
- héritabilité** = heritability
mesure du degré d'expression d'un caractère par le génotype en fonction du milieu.
- hétéroecie** = heteroecious
obligation de passer sur plus d'une plante-hôte pour réaliser complètement un cycle de développement (ex. des rouilles).
- hétérosis** = heterosis
supplément de vigueur souvent constaté chez les hybrides.
- hexaploïde** = hexaploid
plante euploïde possédant six génomes, c'est-à-dire six garnitures chromosomiques (6n).
- homozygote** = homozygous
ayant des gènes identiques sur les loci correspondants des chromosomes homologues.
- hors type** = off type
désigne des plantes qui diffèrent par leurs caractères morpho-agronomiques de la majorité des plants représentant la variété; par exemple, le mélange dans un champ avec des "impuretés"

telles que des plants de grande taille dans un cultivar semi-nain ou vice versa.

hôte (obligatoire) = alternate host

1. l'un des deux hôtes d'agents pathogènes qui doivent réaliser différentes parties de leur cycle de vie sur des hôtes spécifiquement différents.
2. l'une des deux espèces de plantes-hôtes indispensables pour l'achèvement du cycle entier de développement d'une rouille hétéroïque.

hôte (de remplacement) = alternative host

1. l'une des nombreuses plantes-hôtes susceptible d'être attaquée par la même phase du cycle de développement d'un parasite donné.
2. plante-hôte différente de la plante-hôte principale attaquée par le parasite; non nécessaire pour l'achèvement complet du cycle de développement d'un parasite.

hybridation = hybridization

croisement entre deux plantes. Le croisement entre plantes appartenant à la même espèce est appelé croisement intraspécifique, celui entre espèces différentes est appelé croisement interspécifique.

hybride = hybrid

plante provenant d'un croisement entre des parents génétiquement dissemblables.

hyperparasite = hyperparasite

organisme qui parasite un autre organisme lui-même parasite.

hypersensibilité = hypersensitivity

réaction violente de l'organisme à l'attaque par un organisme pathogène ou un virus, aboutissant à la mort rapide des tissus envahis, prévenant ainsi toute extension ultérieure de l'infection. L'hypersensibilité est un cas extrême de sensibilité et est donc l'opposé de l'immunité, encore que les deux termes soient souvent utilisés à tort comme s'ils étaient synonymes.

immun = immune

exempt d'infection; protégé contre une maladie donnée par une immunité innée ou acquise.

immunité = immunity

exempt totale d'agent pathogène potentiel de sorte que l'hôte potentiel est complètement exempt d'infection. Une plante infectée mais qui

n'extériorise pas de symptômes peut être résistante mais non immune.

indice d'exploitation (intensité d'exploitation) : cropping intensity (cropping index)

méthode pour quantifier le nombre de cultures réalisées sur une même pièce de terre; ainsi une unique culture sera comptée 100, une double culture pour 200, une culture intercalaire dans une première culture complètement installée pour 150.

indice de récolte = harvest index

rapport de la matière sèche du grain à la matière sèche de l'ensemble des parties aériennes de la plante.

infecter = infect

pénétrer dans un organisme et établir avec celui-ci une relation parasite permanente ou temporaire.

infection = infection

au niveau épidémiologique du pathosystème, le terme infection se réfère au contact entre un hôte et un parasite; d'où le terme autoinfection. Au point de vue histologique, ce terme se réfère au processus de pénétration de l'hôte par l'agent pathogène.

infester = infest

en parlant d'un agent pathogène, envahir la surface de la plante ou bien être dispersé dans le sol, ou dans tout autre substrat.

inoculation = inoculation

introduction d'organismes morts ou vivants (en général des microorganismes) dans un milieu nouveau tel que sols, milieux de culture, ou corps vivant d'un organisme supérieur, animal ou plante.

inoculum = inoculum

matériau renfermant des micro-organismes ou des particules virales, destiné à être introduit dans (ou transféré sur) un hôte ou un milieu. Ce terme désigne également le matériel potentiellement infectant disponible dans le sol, l'air ou l'eau, qui peut provoquer une inoculation naturelle de l'hôte.

inter- = inter-

préfixe indiquant des rapports entre choses de nature différente, par exemple; interspécifi-

que = entre espèces différentes, inter-allélique = entre allèles différents.

interphase = interphase

stade de repos de la cellule entre les divisions méiotiques; ce stade suit la télophase et précède la prophase qui suit.

intra- = intra-

préfixe indiquant des rapports entre choses de même nature, par exemple : intraspécifique = à l'intérieur d'une même espèce.

introduction (entrée) = accession

1. cultivar enregistré dans une banque de gènes.
2. tout matériel végétal (entrée) nouvellement reçu dans un programme d'amélioration génétique.

introgression = introgression

incorporation de gènes d'une espèce dans le pool génétique d'une autre espèce par hybridation et croisement en retour.

invasion = invasion

pénétration et colonisation d'un hôte par un organisme.

inversion = inversion

réarrangement d'un segment de chromosome en sorte qu'il soit retourné en sens opposé.

IS/GR = IS/GR

abréviation de "Information Systems/Genetic Resources Program", Université du Colorado, Boulder, Colorado (Etats-Unis).

isolat = isolate

culture pure d'un micro-organisme à partir d'un unique fragment.

isoler = isolate

séparer un micro-organisme de son hôte ou de son substrat et l'élever en culture pure.

χ^2 = chi square

test statistique utilisable pour déterminer si une proportion de génotypes observée est différente de la proportion à laquelle on pourrait s'attendre si un système génétique donné était intervenu.

linkage (liaison) = linkage

association de deux gènes ou plus. Ces gènes

sont situés sur le même chromosome et sont susceptibles d'être hérités ensemble.

lignée = line

groupe d'individus issus d'un ancêtre commun.

lignée A = A-line

lignée parentale mâle-stérile cytoplasmique utilisée pour la fabrication de la semence d'hybrides commerciaux.

lignée B = B-line

1. lignée fertile correspondant à la lignée A. La lignée B n'a pas de gène restaurateur de la fertilité et est utilisée comme parent mâle de conservation de la lignée A, ce qui signifie que le croisement lignée A \times lignée B reproduit la lignée A. La lignée B est normalement fertile et peut être reproduite par autopolinisation.

2. lignée conservatrice de la lignée A.

lignée R = R-line

cette lignée croisée avec la lignée A produit un hybride F_1 mâle-fertile. C'est cet hybride qui est semé par l'exploitant agricole.

lignée pure = pure line

groupe de plantes ayant à peu près le même génotype homozygote et qui se reproduisent sans changement.

locus (pluriel loci) = locus (pl. loci)

position déterminée sur un chromosome correspondant à la situation particulière d'un gène ou d'un de ces allèles.

lutte biologique = biological control

utilisation des ennemis et des maladies du ravageur dans le but de conserver un contrôle correct de ce ravageur. Utilisation artificielle d'un moyen de lutte biologique.

M_1 = M_1

la génération qui suit celle de la mutation.

maternel = maternal

relatif au parent femelle (la mère).

matière active (m.a.) = active ingredient (a.i.)

partie active d'un produit composé tel un fongicide. Par exemple le Ridomil 25 WP renferme 25% d'un composé actif: l'acylalénine et 75% de matériau inerte. Ainsi le Ridomil est à 25% m.a.

médiane = median

valeur de la variable telle qu'il y ait un nombre égal de valeurs inférieures et de valeurs supérieures.

méiose = meiosis

mécanisme de division cellulaire dans lequel les cellules filles reçoivent la moitié du nombre de chromosomes des cellules parentales. On l'appelle également division réductrice.

métaphase = metaphase

stade de la division cellulaire durant lequel les chromosomes se regroupent selon un plan transversal au centre de la cellule.

mitose = mitosis

processus de division cellulaire dans lequel les cellules filles ont le même nombre de chromosomes que les cellules parentales.

modes de culture = cropping pattern

succession culturale (rotation) et disposition des cultures sur le terrain, comprenant les alternances de culture et de jachère sur une surface donnée.

monohybride = monohybrid

F₁, hétérozygote pour un seul locus.

monoploïde = monoploid

plante dont les cellules possèdent uniquement le nombre diploïde de chromosomes ($1x$).

monosomique = monosomic

plante dont le génome a perdu un chromosome ($2n-1$).

moyenne arithmétique = mean, arithmetic

valeur obtenue en additionnant ensemble, en tenant compte de leur signe algébrique, une série de valeurs et en divisant le total obtenu par le nombre de celles-ci.

mutagène = mutagen

agent physique ou chimique augmentant le taux de mutation.

mutant = mutant

cellule ou plante issue d'une mutation.

mutation = mutation

changement héréditaire dans le matériel génétique, provenant d'un changement dans les

chromosomes ou dans les gènes.

mutation ponctuelle = point mutation

mutation ne touchant qu'un seul gène.

$n = n$

nombre des chromosomes qui constituent le génome. On le désigne aussi par "nombre de base", nombre haploïde, nombre monoploïde.

nick = nick

floraison simultanée des deux parents que l'on désire croiser.

noyau = nucleus

dans la cellule l'organite qui renferme les chromosomes.

nullisomique = nullisomic

1. qui a une paire homologue de chromosomes ($2n-2$)
2. un individu nullisomique.

numéro de collection = collector number

numéro attribué par le collecteur à une introduction au moment de la collecte de celle-ci.

numéro EC = EC number

numéro dans la Collection exotique (Exotic collection) attribué par le Bureau des introductions végétales du gouvernement de l'Inde.

numéro IP = IP number (International Pearl Millet)

numéro international du petit mil. Chaque introduction dans la collection de germplasm du petit mil sera identifiée par son numéro IP.

numéro IS = IS number

numéro international du sorgho; chaque introduction dans la collection mondiale de germplasm du sorgho sera identifiée par son numéro IS.

octoploïde = octoploid

plante à huit génomes ($8n$) dans le noyau.

ontogénie = ontogeny

déroulement du développement d'un organisme individuel (la phase d'ontogénèse des productions agricoles concerne la formation des graines et la mise à graines).

- out-breeding = out-breeding
croisement entre deux plantes ayant deux génotypes différents.
- oosphère = egg
gamète femelle.
- ovule = ovule
partie de la fleur, qui renferme le gamète femelle, et qui après la fécondation devient la graine.
- P = P
symbole utilisé pour désigner un parent.
- panicule = panicule
chez une céréale la partie de la plante qui porte les graines.
- parasite = parasite
organisme qui vit dans un autre ou sur un autre organisme d'une espèce différente dont il tire des aliments ou un simple abri.
- "parc" de gène ou réserve naturelle = gene park or nature reserve
zone isolée et protégée utilisée pour la conservation dans des conditions naturelles des ressources génétiques d'espèces sauvages affines d'une espèce cultivée et de leurs adventices.
- paternel = paternal
relatif au père.
- pedigree = pedigree
nomenclature fixée pour le matériel végétal du sélectionneur.
- période de végétation = growing season
période(s) de l'année durant laquelle (lesquelles) une culture se développe et mûrit ses graines.
- phase d'appariement = coupling phase
situation où les allèles dominants liés se trouvent dans un chromosome homologue et les allèles récessifs dans l'autre chromosome homologue.
- phase de répulsion = repulsion phase
en cas de linkage, situation où un allèle dominant est lié à un allèle récessif dans chaque homologue.
- phénologie = phenology
science des époques d'apparition des phénomènes caractéristiques périodiques dans les cycles biologiques des organismes dans la nature et de l'influence des facteurs du milieu sur ces phénomènes.
- phénotype = phenotype
ensemble des caractères observables ou mesurables d'un organisme.
- phéromone = pheromone
substance sécrétée par un insecte qui influence le comportement des individus de la même espèce.
- photopériodisme = photoperiodism
réactions induites dans l'ontogenèse d'un organisme par les durées relatives du jour et de la nuit. De nombreuses plantes ont des besoins spécifiques de longueur relative de jour diurne et de périodes d'obscurité pour initier leurs fleurs et former leurs graines.
- pollen = pollen
gamète mâle d'une plante; le pollen est produit dans les anthères.
- pollinisation = pollination
transfert du pollen de l'anthère sur le stigmate. La pollinisation est nécessaire à la réalisation de la fécondation.
- pollinisatrice (lignée) = pollinator
lignée ou population utilisée comme parent mâle (donneur de pollen).
- polygènes = polygenes
1. nombre relativement important de gènes situés à des loci différents mais qui régissent le même caractère d'où l'impossibilité de définir des classes distinctes dans une population F_2 .
2. gènes impliqués dans l'hérédité quantitative.
- polyploïde = polyploid
plante possédant un nombre de chromosomes plus élevé que le nombre diploïde ($2n$).
- pool génétique = gene pool
gènes ou complexe de gènes utiles dans une population en divergence.
- population = population
1. groupe d'individus (plantes) d'une même espèce ou variété qui se trouve dans un site ou un champ donné. Les plantes d'une population peuvent être, ou ne pas être génétiquement semblables.

2. groupe d'individus s'interfécondant et ayant en commun un lot de gènes.
3. communauté d'individus à fécondation libre ayant en commun un lot de gènes. Les populations peuvent être d'origine soit naturelle (comme les variétés indigènes locales), soit fabriquée (comme les variétés composites ou synthétiques).

population collection = collection, population populations de croisements composites organisées pour obtenir le maximum de recombinaisons; elles peuvent, ou non, comporter des lignées mâle-stériles. De telles populations doivent non seulement conserver le germplasma mais aussi fournir un matériel pouvant servir de nouvelle base pour des travaux ultérieurs.

pourcentage de germination = germination percentage
 exprimé en pourcent, c'est le nombre de graines réellement germées dans un échantillon.

probabilité = probability
 chance pour qu'un événement se réalise.

prophase = prophase
 premier stade de la mitose ou de la méiose, durant laquelle apparaissent les chromosomes.

protection intensive = intensive protection
 protection des cultures contre les dégâts causés par leurs ennemis dans une mesure telle que ces dégâts soient négligeables et ne peuvent perturber les mesures précises des paramètres de recherche.

protection économique = economic protection
 protection des cultures contre les attaques des divers ennemis de celles-ci, limitée à un coût inférieur à la valeur des plus-values apportées par la protection.

protogynie = protogyny
 1. maturation du pistil avant celle des anthères.
 2. caractéristique de fleurs où les pièces femelles sont réceptives avant que les anthères de ces mêmes fleurs libèrent leur pollen (phénomène favorisant la pollinisation croisée).

quadrivalent = quadrivalent
 regroupement, durant la méiose, de quatre chromosomes ensemble, au lieu de deux (bivalent) normalement.

récessif = recessive
 (voir allèle récessif).

recombinaison = recombination
 combinaison de caractères dans une descendance, différente de celle de ces mêmes caractères chez l'un ou l'autre parent.

réurrence, sélection = recurrent selection
 (voir sélection récurrente).

rendement (d'une culture) = yield (crop)
 portion(s) utilisable(s) d'une culture; a une valeur sur l'exploitation ou commercialement.

résidu de récolte = crop residue
 parties de la plante ou de la récolte abandonnées sur le champ après récolte, ou partie de la récolte qui n'a pas d'usage domestique ou qui ne fait pas l'objet de commerce.

résistance = resistance
 capacité d'un organisme à supporter, à opposer un mécanisme spécifique à un facteur nuisible ou pathogène ou à réduire ou surmonter les effets de ce facteur. Concernant les agents pathogènes des végétaux, la résistance peut être définie comme: la capacité de l'hôte à supprimer ou à retarder l'activité d'un organisme ou d'un virus pathogène. La résistance est un phénomène quantitatif; c'est l'inverse de la sensibilité. Ainsi la résistance peut varier de très élevée (sensibilité faible) à faible (forte sensibilité). "Moyennement résistant" et "moyennement sensible" sont équivalents. On devrait éviter d'employer le terme "tolérance" pour définir ces réactions intermédiaires.

résistance à la sécheresse = drought resistance
 1. caractéristique de végétaux aptes à la culture dans des conditions de sécheresse, sans s'intéresser au mécanisme naturel qui produit cette résistance. Une des propriétés les plus importantes est la capacité de tolérer, sans dommage, une importante perte d'eau.
 2. capacité relative à poursuivre croissance et production en conditions d'humidité insuffisantes.

ressources génétiques = genetic resources
 somme totale du matériel génétique d'une espèce donnée.

rétrocroisement = backcross
 croisement entre un hybride et l'un de ses parents.

- rotation culturale = crop rotation
culture de diverses plantes se succédant périodiquement sur le même terrain.
- $S_1 = S_1$
terme utilisé en amélioration des populations. Ce symbole désigne la première génération autofécondée d'un plant ancestral S_0 . La famille S_1 comprend une descendance d'un plant mâle-fertile sélectionné; ce plant mâle-fertile étant une descendance en demi-consanguinité. La S_1 est l'équivalent d'une F_2 . Chez le sorgho on utilise des plants mâle-fertiles en pollinisation libre dans la population pour former les familles S_1 . Les semences pour les descendances S_1 sont obtenues par autofécondation des plants sélectionnés dans les descendances demi-consanguines (half-sib) ou dans un "bulk" en pollinisation libre.
- $S_2 = S_2$
terme utilisé en amélioration des populations. C'est le symbole utilisé pour désigner la seconde génération autofécondée issue d'un plant ancestral S_0 . La famille S_2 comprend la descendance d'un plant sélectionné S_1 . La S_2 est équivalente à une F_3 . Les semences pour la descendance S_2 sont obtenues en autofécondant des plants sélectionnés de la descendance S_1 .
- saison "rabi" = rabi season
désignation (en Inde) de la saison (après la mousson) durant laquelle les cultures croissent en utilisant surtout l'eau stockée dans le sol, avec ou sans l'apport d'aucune précipitation d'hiver significative. Elle commence avec la fin de la saison des pluies en général en octobre. A l'ICRISAT le terme adéquat retenu est "saison d'après les pluies" (postrainy). (Cf. période de végétation).
- savane = savannah
prairie tropicale ou subtropicale avec des arbres dispersés soit individuellement soit en bosquets. La savane est souvent une phase de transition entre la véritable prairie et la forêt.
- sécheresse (agricole) = drought (agricultural)
manque d'eau du point de vue de l'agriculteur ou de l'éleveur.
- sécheresse (en général) = drought (general)
manque d'eau; c'est un état relatif plutôt qu'absolu.
- sécheresse (météorologiquement parlant) = drought (meteorological)
absence de pluie pendant une période de l'année durant laquelle on devrait normalement observer des pluies compte tenu du site et de la saison.
- ségrégation = segregation
séparation des chromosomes maternels et paternels à la méiose pour former les gamètes et union des gamètes à la fécondation pour produire de nouvelles combinaisons.
- ségrégation transgressive = transgressive segregation
apparence de plantes, de la génération F_2 ou des générations ultérieures, qui possèdent un caractère hors de la série parentale.
- sélection massale = selection, mass
terme utilisé en amélioration des populations.
1. on sélectionne dans la population des plants individuels; les semences de ces plants sélectionnés sont mélangées en masse afin de constituer la population pour un prochain cycle. Le processus est répétitif.
2. forme de sélection dans laquelle on choisit des plants individuels sur la base de leur phénotype et la génération suivante est issue de l'ensemble de leurs graines. Le processus peut se répéter.
- sélection généalogique = pedigree breeding
1. méthode de sélection dans laquelle des plants individuels sont sélectionnés dans des générations en ségrégation issues d'un croisement, en fonction de caractères désirables jugés individuellement et sur la base d'un relevé généalogique.
2. méthode de semis à la ligne, les graines d'une panicule choisie durant la saison sont semées en une ligne durant la même saison de l'année suivante.
- sélection récurrente = selection, recurrent
terme généralement employé en amélioration des populations. C'est une méthode d'amélioration élaborée pour concentrer des gènes favorables dispersés sur un certain nombre d'individus en sélectionnant à chaque génération parmi les descendances produites par croisement entre eux d'individus sélectionnés (ou de leurs descendances autofécondées ou fécondées par un plant frère) de la génération précédente. Lorsque cette méthode comporte le testage de la descend-

ance (ce qui n'existe pas en sélection massale), chaque cycle comporte trois étapes :

1. production de descendances par autofécondation ou par toute autre méthode de croisement.
2. évaluation de ces descendances.
3. recombinaison des descendances sélectionnées. La sélection continue cycle après cycle, tant qu'une variabilité suffisante persiste.

sélection récurrente réciproque = reciprocal recurrent selection

elle est pratiquée lorsque l'on fait une sélection récurrente entre deux populations génétiquement différentes avec pour objectif l'amélioration des deux populations pour leur aptitude à la combinaison aussi bien générale que particulière. Elle assure surtout l'amélioration des performances des croisements dans la population et celle des performances des hybrides faits entre croisements consanguins à partir des deux populations.

semence = seed

grain d'origine sélectionnée, nettoyé, et (le plus souvent) traité destiné à être semé pour produire une culture commercialisable.

sensibilité = susceptibility

inverse de résistance. Définie comme inaptitude de la plante-hôte à se défendre elle-même contre (ou à surmonter) les effets de l'invasion par un agent pathogène ou un virus. Si un cultivar ne présente aucun symptôme d'une attaque d'un pathogène et que l'on n'est pas sûr qu'il ait été attaqué par celui-ci, on ne peut le dire "résistant"; le terme descriptif correct est: "indemne de symptômes".

sibbing = sibbing

croisements entre plants d'une même population. En général, le pollen est collecté sur quelques individus de la même population, regroupé et utilisé pour féconder les "plantes soeurs" de la même population.

sibs = sibling

un, deux ou un nombre plus élevé de descendants des mêmes parents.

sib-mating = sib-mating

croisement entre deux, ou entre un nombre plus élevé d'individus ayant la même parenté (croisement frère-soeur).

sidecar = sidecar

population sélectionnée avec un objectif particulier (tel que la résistance à une maladie spécifique), cette population auxiliaire est améliorée sur le plan agronomique et ensuite alors introduite dans une population principale en voie d'amélioration, ou bien devient la population principale.

stérilité mâle = male sterility

désigne l'impossibilité partielle ou totale pour un plant mâle de produire des cellules polliniques fonctionnelles.

stock génétique = genetic stock

variété ou souche connue comme possédant des caractères plus ou moins spécifiques.

symbiose = symbiosis

existence commune en une association plus ou moins intime de deux organismes différents au bénéfice mutuel de chacun des deux. Deux exemples bien connus : les lichens (association algue + champignon) et les légumineuses qui vivent en association avec les rhizobiums.

synthétique = synthetic

1. génération avancée d'une population à fécondation libre constituée de quelques lignées sélectionnées maintenues en consanguinité.
2. variété fabriquée par le croisement entre elles d'un certain nombre de lignées consanguines (en général de cinq à huit) choisies en tenant compte de leur bonne aptitude générale à la combinaison. La variété est conservée ultérieurement en pollinisation libre.

talle = tiller

tige érigée ou semi-érigée prenant son origine d'un bourgeon axillaire ou de la base de la plante.

télophase = telophase

stade ultime de la méiose ou de la mitose; les chromosomes se regroupent aux pôles de la cellule, et une membrane nucléaire se forme autour d'eux.

test cross (croisement d'épreuve) = test cross

croisement réalisé avec un parent homozygote récessif afin de déterminer si un individu est homozygote ou hétérozygote.

test de descendance = progeny testing

1. terme utilisé en sélection récurrente. On pro-

duit un certain nombre de descendance représentatives d'une population (par autofécondation, croisement consanguin, croisement avec un témoin selon le but recherché) et on les évalue dans un certain nombre de conditions de milieu afin de déterminer la meilleure à croiser en recombinaison pour créer une population améliorée.

2. méthode pour estimer les caractères génétiques d'un individu par les performances de sa descendance.

test statistique = significance test (statistics)

calcul de la probabilité minimale pour qu'une différence quantitative observée entre les résultats de traitements expérimentaux donnés soit d'une grandeur telle que l'on soit en droit d'attribuer cette différence aux traitements plutôt qu'au hasard ou à l'erreur expérimentale. Si cette probabilité est inférieure à la plus petite valeur admise (désignée par le terme : "seuil de signification et qui en général est 1 sur 20), la différence est dite "significative". (N.B. Le fait qu'une différence ne soit pas "significative" ne constitue pas une preuve de l'absence de différence entre les traitements.)

tétraploïde = tetraploid

plante polyploïde possédant quatre génomes (4n).

tolérant = tolerant

terme employé pour décrire l'aptitude d'une plante-hôte à supporter la colonisation extensive et illimitée d'un organisme parasite ou d'un virus sans apparition de symptômes. On ne doit pas employer le terme "tolérant" pour décrire une sensibilité modérée ou une résistance modérée chez une plante.

topcross/testeur = topcross/tester

croisement entre une sélection, une lignée, un clone, etc., et un parent commun, qui peut être une variété, une lignée consanguine, un croisement unique, etc. Le parent commun est appelé "testeur".

translocation = translocation

échange d'un petit segment d'un chromosome avec un segment d'un autre chromosome non-homologue.

trisomique = trisomic

se dit d'une plante diploïde possédant un chromo-

sosome supplémentaire ($2n + 1$).

trivalent = trivalent

unité de trois chromosomes homologues qui peut se constituer au moment de l'appariement à la méiose chez les polyploïdes.

tropiques semi-arides = semi-arid tropics

zones tropicales à saison sèche où les précipitations mensuelles dépassent l'évapotranspiration potentielle pendant deux à sept mois et où la température moyenne mensuelle est supérieure à 18°C. On appelle tropiques semi-arides secs les zones de deux à quatre et demi mois humides et tropiques semi-arides secs-humides celles de quatre et demi à sept mois humides.

types adventices = weedy types

types végétaux indésirables accompagnant une espèce cultivée et ayant un comportement envahissant et perturbant aussi bien la race cultivée que les races réellement spontanées.

types spontanés = wild types

plantes affines de la plante cultivée, mais non domestiquées et apparaissant spontanément.

unité graphique = map unit

un pourcentage de crossing-over de 1% peut être considéré comme constituant une unité graphique.

univalent = univalent

se dit d'un chromosome qui ne s'apparie pas durant la méiose.

utilisation des repousses = ratooning

coupe d'une plante pour obtenir sa repousse.

variance = variance

mesure statistique de la variation. Elle est égale au carré de l'écart-type.

variance additive = additive variance

composante de la variance génétique due aux effets additifs des gènes.

variance de dominance = dominance variance

composante de la variance génétique qui est due à l'effet de dominance des gènes.

variation = variation

existence de différences entre individus de la même espèce.

variation continue = continuous variation
variation qui ne peut être découpée en classes distinctes.

variation discontinue = discontinuous variation
variation qui peut être décrite par un système de classes séparées par exemple : rouge ou blanc, pourpre ou vert, etc.

variété = variety

1. population de plantes, ayant en commun de nombreuses caractéristiques; une variété peut être une lignée pure, un mélange de lignées pures, une population mendélienne, ou un clone.
2. un groupe de plantes, à l'intérieur d'une espèce, qui diffère par certains caractères d'autres groupes de la même espèce, c'est-à-dire des plantes ayant certains caractères (en général souhaitables) en commun.
(Le code international de nomenclature botanique fait maintenant une distinction entre "variété botanique" qui n'a pas pour origine une manipulation humaine et "variété cultivée" (cf. *cultivar*) qui tire son origine et sa persistance de la culture).

variété expérimentale = experimental variety
comparable à variété synthétique; constituée par des croisements mutuels entre un petit nombre (moins de dix, souvent quatre ou cinq) de descendances composites choisies. (Les descendances composites ne sont pas, dans ce cas, des lignées autofécondées comme celles normalement utilisées pour les synthétiques).

vigueur hybride = hybrid vigor
augmentation de l'énergie de croissance chez un plant issu du croisement entre deux parents génétiquement différents par rapport à l'énergie de croissance de l'un ou l'autre des parents.

vigueur de la plantule = seedling vigor
taux de croissance de la plantule.

xénie = zenia
effet direct du pollen sur l'endosperme.

xérophyte = xerophyte
plante qui peut subsister dans des milieux arides.

zones climatiques analogues = climatic analogs
zones comparables en ce qui concerne les caractéristiques climatiques les plus importantes pour la production agricole.

zygote = zygote
cellule formée par la fusion des gamètes mâle et femelle au moment de la fécondation.

INDEX

- Accouplement assortatif 59
Action des gènes
 additive 55-56
 de dominance 55-56
 épistatique 55-56
Activité vitaminique A 153
Adaptation 2, 15
Adventifs, bourgeons 13, 15
Alfisol 149
Alimentation animale 1
 composés cyanhydriques 2
Allèle 3), 39
Allopolyploïdes 52
Ambali 151
Anaphase 32, 33, 34, 35
Aneuploïdes 51
Anthracnose 3
 criblage pour la résistance 147
 génétique de résistance 75
Application des engrais 157
Aptitude à la combinaison
 générale 135
 spécifique 135
Assortiment indépendant 43-45
Asters 31, 34
Atherigona soccata
 mouche des pousses 3, 82, 143
 génétique de résistance 76
Autopolyploïdes 51-52
- Bière 1, 151
Bivalents 34, 35
Bogobe 151
Boissons non alcoolisées 151
Bouillies 153
Bourgeons adventifs 13, 15
- Cabane de terrain 164, 165
Cahiers de champ 159, 160
Calocoris angustatus
 punaise des panicules 146, 151, 159
Capacité de récupération 143
Caractère génétique
 effet des modificateurs 141
Caractère "vernissé" 143, 149-150
Carence
 en fer 157
 en zinc 157
Carotène 153
Caroténoïdes 18
Carte chromosomique 45
Caryopse 18
Castration 102-107
 à l'eau chaude 102, 107
 manuelle 105
 matériel 105-106
 organisation d'une équipe 105
 technique du sac plastique 102, 107
Castration manuelle 105
- matériel 105
 organisation d'une équipe 105
Cécidomyie 3, 145
 criblage pour la résistance 145
 génétique de résistance 76
 lutte par ensachage des panicules 98
Cellules mères des grains de pollen 35
Centromère 31, 32, 34, 35
Cercospora sorghi
 maladie des taches grises 82
Certification des semences 171, 172,
 174-175, 182
 agence de 187-189
 essai en laboratoire 176
 étiquettes de 176, 189
 fonctions de 188-189
Chapati (Roti), études qualitatives 154
Charbon
 génétique de résistance 75
Charbon couvert
 génétique de résistance 75
Charbon de la panicule
 génétique de résistance 75
Chaumes 15
Chiasma 34, 35, 45, 47
Chilo partellus
 foreur du sorgho 82
 génétique de résistance 76
Chromatides 31, 32, 34, 35
Chromosome 30
 déficience 49
 duplication 49
 homologues 30
 inversion 49
 translocation 49
CIMMYT (Centro Internacional por
 Mejoramiento de Maíz y Trigo) 141, 145
Classification 5, 6, 8
Cléistogamie 14
Coeurs morts 145
Coléoptile 13
Collecte du pollen 112, 124
Collection, rôle de 82
 catalogue 82
 collecte 84, 85
 descripteurs 82
 entretien 83
 herbier 84
 quarantaine 84
 stockage 83
 types de 83
Collection, types de 83-85
 de base 84
 de bulk 84
 de gènes 84
 d'introductions 84
 de plantes spontanées 84
 de population 84
 de variétés dénommées 84
Collection mondiale 81-82
Colletotrichum graminicola
- anthracnose 3, 147
 génétique de résistance 75
Commerciales, semences 170
Commercialisation des semences 170,
 190
Commission de diffusion des
 variétés 191
Compétition dans l'industrie semencière
 180
Composites 128
 désignation par des symboles 130
 résistance aux insectes et aux
 maladies 128
 sélection des familles S₁ 134
 sélection massale 130-131
 sélection par familles full-sib
 (de frères) 130, 133
 sélection par familles half-sib
 (de demi-frères et demi-soeurs) 130,
 131
 sélection récurrente 130, 135
 sélection récurrente réciproque 130,
 135-136
 techniques de sélection 128, 130
Conduite de la culture 156
Contarinia sorghicola
 cécidomyie du sorgho 3, 145-146
 génétique de résistance 76
Contrôle de la qualité de la
 production de semences 170
Coopératives, production
 de semences 172, 176
Cotylédons 37
Couleur du grain 151, 154
 génétique de 77
 tests d'évaluation 154
 variétés à grains colorés 151
Couleur de la plante 153
 génétique de 76
 sélection pour 154
Couplage, phase de 45
Crédit 177
Criblage pour la résistance à 143-148
 anthracnose 147
 cécidomyie 145
 foreur de la tige 143
 mildiou 146
 moisissures des grains 147
 mouche des pousses 143
 rouille 147
 Striga 147
Croisement d'épreuve 40, 44-45, 127
Crossing-over 45
Croûte du sol 149
Culture continue 157
Curvularia sp
 moisissures des grains 150, 159
 criblage pour la résistance 147
Cyanhydriques, production de
 composés 2
Cytokinèse 31

- Damier
dispositif en 148
tableau 44
- Déficiences du chromosome 49
- Dégâts d'oiseaux 3
- Déhiscence 35, 124
- Densité, plantes/ha 157
- Descripteurs 8, 195-208
- Développement de la plantule 13, 14
- Diffusion des hybrides
et des variétés 173, 191
- Dihybride 43-45
- Diploïde 31
- Dispersion géographique 5-10
- Dispositifs expérimentaux au
champ 158-159
- Disruptive, sélection 4
- Distribution des races 7, 9-10
- Division réductrice 33
- Documents
de travail 112-113, 123
pour l'enregistrement des
données 159
- Documents de travail 112-113
croisement 123
- Domestication 4, 5
- Dominance 37
- Domages par *Heliothis* 159
- Données, méthodes d'acquisition
de 98-100
- Données sur la production 3
- Double fécondation 37
- Drainage 156
- Duplication des chromosomes 49
- Ebauche florale 13, 14
- Edi 151
- Embryon 15, 37
- Endosperme 13, 14
couleur, jaune 18, 37, 153
grain tendre 152
noyau 37
texture 153, 155
- Endosperme, caractères de 77, 153
cireux 77, 153
couleur 77
dureté de 77
sucré 77
- Endosperme cireux
génétique de 77
- Endosperme, dureté de
génétique de 77
- Endosperme jaune
génétique de 77
- Endosperme sucré
génétique de 77
- Enregistrement des expéditions 161
- Enschage des panicules 98, 125, 147
- Epillet
pédicellé 17, 18, 106
sessile 17
- Epistasie 49, 55-56
- Equilibre génétique 59
- Equipe
de recherche 81
- esprit de 81
- Ergot 82
- Espèces
adventices affines 10
spontanées affines 10
- Essai de rendement 95, 130, 158-159
régional 95
répétition 130
- Essais, disposition en champ 158-159
- Etablissement de la culture 149
- Étiquettes de rang 161
- Euploïdes 51-52
- Eu-sorghum* 6
- Exposition au mauvais temps 150
- Façons culturales, précision 156
- Facteur
hydrique 2
température 3
- Facteurs de Mendel 38, 39
- Faisceaux vasculaires 15
- Famille "full-sib"
sélection 130, 133
- Famille "half-sib"
sélection 130, 131
- Fécondation 14, 33, 37
- Feuille paniculaire 14
- Feuilles 15-17
- Floraison 13-14, 17, 102-103, 128, 158
effet de la photopériode sur 70-74
- Foreur de la tige 3, 82
criblage pour la résistance 143
génétique de résistance 76
- Formation des grainiers 173, 179, 183,
192
- Fréquences géniques 56-57, 60, 140
facteurs modifiant 60-69
sélection 61
- Fréquences génotypiques 56-57
- Fumure
azote 157
phosphore 157
potassium 157
- Fumure azoté 157
effets de 157
- Fusarium* sp 147, 150, 159
- Fuseau 31, 32, 34, 35
- Gabarit 135
- Gamètes 33
- Gamétogenèse 35
- Génération filiale 37
- Gènes 30
- Gènes exotiques 150
- Gènes pléiotropiques 47
- Génétique 29-78
caractères de l'endosperme 77
couleur des glumes 76
couleur des graines 77
couleur de la plante 76-77
de la hauteur 74
de la maturité 69
stérilité mâle - génétique 74
stérilité mâle - cytoplasmique 74-75
teneur en HCN 76
- tiges dures et sucrées 76
trichomes 76
- Génétique de résistance
anthracnose 75
borer ponctué du sorgho 76
cécidomyie 76
charbon de la panicule 75
charbon couvert 75
hémithosporiose 76
insectes des grains stockés 76
maladie du milo 75
mildiou 76
mouche des pousses du sorgho 76
pourriture charbonneuse 76
rouille 76
virus de la mosaïque
nanisante du maïs 76
- Génomomes 30
- Génotype 29, 30, 39, 54-55
à haut rendement 150
insensible au photopériodisme 150
- Germination 13
- Glumes
couleur, génétique de 76
structure 17
- Grain coloré 147
- Graine, structure de 18
- Grainiers, formation 173, 179, 183, 184,
192
- Granulométrie de la farine 154
- Haploïde 31
- Hardy-Weinberg, loi de 57-60
- Hauteur de la plante, génétique de 74
- Helminthosporiose 82
génétique de résistance 76
- Herbier des introductions 84
- Hérédité 30-31
- Hérédité
monofactorielle 37-38
polygénique 42, 53-55
polypléiotropie 52
pour deux facteurs 47-49
quantitative 42, 53
- Hérédité quantitative 42, 53-55
caractères 53
- Héritabilité 62-63, 130
- Hétérozygote 31, 38, 39, 40
- Hétérozygotie, réduction
par autofécondation 40
- Homozygotie 30, 37, 38
- Hybridation 102-103, 122-128
castration 102, 103
choix du terrain 104
conduite du champ 103
documents de travail 112, 113, 123
dose de semis 104
équipe 125
intervalle de semis 102
photopériode 103
pour la sélection de
lignées nouvelles 93
pour l'obtention des hybrides 93, 122
sans utiliser la stérilité mâle 104-105
température 103

- Hybridation, nomenclature 91-94
 Hybrides
 croisement pour créer des hybrides 93
 dénomination 35-97
- Industrie semencière
 compétition 180
- Inflorescence 17
 développement 13, 14
 domestication 5
- Initiation florale, jours à 70
- Injera 151
- Insectes des produits stockés
 génétique de résistance 76, 153
- Insecticides 3, 158
- Intensité de la culture 81
- Interaction génique 48-49
 additive 49
 complémentaire 48
 doublee 49
 épistatique 49
 inhibiteuse 48
 modificateuse 48
- Interphase 31, 32, 35
- Intervalle de semis et croisement 102
- Introgression 4
- Inversion 49
- Irrigation 156
 aspersion/brumisation 147, 149
 et criblage pour la résistance 147
- Kisra 151
- Levée
 en l'absence d'une croûte 149
 en présence d'une croûte 149
 en sol très chaud en surface 149
- Lignée A 122
- Lignée B 122
- Lignée R 122, 135
- Lignées, dénomination de 95-97
- Linkage 45-47
- Locus 30
- Lysine 1, 92, 94
- Machines pour la numérotation 161
- Macrophomina phaseolina* 3
 génétique de résistance 76
- Maladie
 du milo, génétique de résistance 75
 des bandes de suie 82
 des taches grises 82
- Maturité
 génétique de 69
 physiologique 14, 18
- Méiose 31, 33-35
- Méristématique, tissu 31
- Mésocotyle 13
- Métaphase 31, 32, 34, 35
- Micropyle 37
- Migration 67
- Mildiou 3
 criblage pour la résistance 146
 génétique de résistance 76
- Milieu 30, 53, 62
 résistance aux insectes et aux maladies 142
- Mitose 31-33
- Moelle 15
- Moisissures 3
- Moisissures des grains 3, 147, 150
 criblage pour la résistance 147
 sélection en vue de la résistance 150
 sensibilité à 153
- Monohybride 42
- Mosaïque, tissu 50
- Mouche des oousses 3, 82, 143
 criblage pour la résistance 143
 date de semis 159
 génétique de résistance 76
 sélection pour la résistance 141
- Mutation 49-51, 66-67
 et sélection 67
- Mutation chromosomique 49
- Mutations géniques 50
- Mutations, taux des 50
- Nématodes 3
 dominages 157
- Nick 127
- Nomenclature 85-97
- Nouilles 151
- Noyau
 reproducteur 35, 37
 végétatif 35, 37
- Numéro de la parcelle 158
- Numéro IS 83
- Numérotation des parcelles 158-159
- Ogi 151
- Oligoéléments 157
- Olpitrichum* 150
- Panicule 17
 ensachage de 98, 125, 147
- Panicules-lignes 98
- Panmixie 57
- Para-sorghum 6
- Parasite végétal 147
- Parcelles de sélection
 de criblage 148
 techniques de culture 80-81
- Parent non récurrent 41, 91
- Parent récurrent 41, 91
- Pâte
 évaluation 154
 qualité 154
- Péricarpe 1, 14, 18, 153
 couleur 18, 153
 sélection pour le caractère de coloration 154
- Periconia circinata* - maladie du milo
 génétique de résistance 75
- Peronosclerospora sorghi*
 mildiou 3, 82
 génétique de résistance 76
- Phase
 reproductrice 13
 végétative 13
- Phénotype 29, 39, 62
 intermédiaire 39-40
- Phénotypique, proportion 39
- Phoma sorghina* 150, 159
 criblage pour la résistance 147
- Phosphore, apport de 157
- Photopériode 70-74
 croisement 103
- Plan équatorial 31, 32, 34, 35
- Plantule
 développement de 13, 14
 résistance à la sécheresse 149-150
 viguer 150
- Pluie 103
 et croisement 103
 et incidence des maladies et des ravageurs 158, 159
- Plumule 37
- Poids sec maximum 14
- Poils radiculaires 15
- Pollinisation 107-112
 instructions 107, 122, 123, 124
 méthodes de 97
- Polymorphes, populations 4
- Polypléides
 allopolyploïdes 52
 aneuploïdes 51
 autopolyploïde 52
 euploïdes 51-52
 hérédité 52
- Population 67
 génétique 56-69
 panmictique 57
 résistance aux insectes et aux maladies 138
 sélection par famille "full-sib" 133
 sélection par famille "half-sib" 131
 taille efficace 68
- Populations polymorphes 4
- Porridge 1
- Potassium, apport de 157
- Pourriture charbonneuse 3
 génétique de résistance 76
 sélection pour la résistance 141
- Prédateurs des acariens et des pucerons 158
- Production
 d'hybrides 173
 de variétés 173
 zones de 183
- Production de semences 127-128, 169-179
 capitales 172
 contrôle de la qualité 170, 172
 coopératives 172, 176, 177
 équipement pour 172-173, 180, 182, 192
 industrie 169
 objectifs 182-183
 recherche 169-170
 risque 173
 rôle du gouvernement 171, 181-183, 190
 secteur privé 170, 171, 180, 190
 secteur public 170, 171, 180, 190
- Profit 180, 184

- Programme de conversion 70, 83
 Progrès de la sélection 136-138
 Prophase 31, 32, 34, 35
 Proportion génotypique 39
 Pruine cireuse 16
Puccinia purpurea - rouille 82, 147
 génétique de résistance 76
 Punaises de la panicule 146, 151, 159
- Quadrivalent 52
 Qualité
 du grain 1, 100
 des protéines 1
 Qualité alimentaire 150-156
 critères relatifs à 151
 déficit d'humidité 156
 évaluation 151
 Qualité du grain 1, 100
 Qualité du grain, effet de
 caractères de l'endosperme 153
 couleur 151
 couleur de la plante 153
 dimension des grains 153
 facteurs du milieu 156
 fertilité 156
 forme des grains 153
 humidité 156
 moisissures des grains 153
 origine géographique 156
 péricarpe 153
 poids des grains 153
 ravageurs des stocks 153
 tanin 151
 texture 153
- Races, distribution 9-10
 bicolor 8, 9, 10
 caudatum 8, 9, 10
 durra 4, 8, 9, 10
 guinea 4, 8, 9
 kafir 8, 9, 10
 Racème 17-18
 Rachis 4, 17
 Racines 15
 Radicule 13, 37
Ramulispora sorghi - maladie
 des bandes de suie 82
 Rangs, parcelles de criblage 158
 Ravageurs des stocks 153
 Récessif, caractère 37
 Registre
 d'introductions 85-86, 161
 d'inventaire des semences 161
 Rejets 15
 Rendement 2
 Réponses aux engrais 2
 Repousses spontanées 157
 Résistance aux insectes
 milieu pour la sélection 142
 sélection pour 138-143
 techniques de criblage pour 143-148
 Résistance aux maladies
 milieu pour la sélection 142
 sélection pour 138
 Restriction aux mouvements
- des semences 183
 Rétrocroisement 41-43, 91-93, 125, 138
 Rhizomes 15
 Risque dans la production
 des semences 173
 "Roti" 151, 154
 critères de sélection 155
 études qualitatives 154
 Rouille 82
 criblage pour la résistance 147
 génétique de résistance 76
- Sac embryonnaire 36, 37, 52
 Sangati 151
Sativa 6
 Ségrégation 40
 Sélection 61-65, 100
 accentuation des différences 81
 à la floraison 97
 avec dominance 64
 critères 100
 disruptive 4
 et mutation 67
 et variabilité 80
 famille S₁ 134
 gains de rendement à chaque
 cycle successif 136
 massale 130-131
 notions de base 80
 pour l'hétérozygote 65
 pour la résistance aux maladies
 et aux insectes 128
 pour la qualité alimentaire 150-156
 populations 143
 pression 98
 progrès de la sélection 136
 progrès génétiques 63
 récurrente 130, 135, 138
 symboles utiles 99
 Sélection consanguine 59
 Sélection des familles S₁ 134
 Sélection généalogique 97-100, 143
 pour la résistance aux insectes
 et aux maladies 138
 Sélection massale 130-131
 Sélection récurrente 128, 130
 pour la résistance aux insectes
 et aux maladies 138
 réciproque 135
 Semences
 bureau semencier officiel 186
 certifiées de deuxième reproduction 174
 certifiées de première reproduction 173
 commercialisation 170, 191
 commerciales 171
 conditionnement de 176-177
 de base 171, 172, 173, 181-182, 191-193
 de pré-base 170, 173
 distribution 177
 en agriculture moderne 169
 en agriculture traditionnelle 168-169
 grainetiers vendeurs 187
 industrie 168-171, 190-191
 inspecteurs 186-187
 laboratoire d'essai 186
- législation 172, 179, 182, 185, 186
 parents 91
 politique 189
 producteurs de 172, 183-184, 187
 production 127-128, 169-179
 registre d'inventaire 161
 responsable de l'exécution
 de la loi 186
 Semences certifiées
 de deuxième reproduction 174
 de première reproduction 173
 Semences de base 171, 172, 173, 181-182
 agence pour la conservation de 191-193
 Semences de pré-base 170, 173
 Semences de qualité
 distribution 172
 production 172
 Semis, date de 159
 Sidecar 129, 141
 Sirop 5
Sorghum aethiopicum 4, 10
Sorghum arundinaceum 4, 10
Sorghum bicolor 4, 5, 6, 8, 9, 10
Sorghum drummondii 10
Sorghum durra 8
Sorghum halepense 6, 8
Sorghum spontanea 6
Sorghum verticilliflorum 4, 10
Sorghum virgatum 4, 10
 Sorgho d'Alep 15
 Sorgho sucré 151
Sphacelia sorghi - ergot 82
Sphacelotheca reiliana
 génétique de résistance 75
Sphacelotheca sorghi
 génétique de résistance 75
 Stade laitieux 14
 Stade pâteux 14
 début 14
 fin 14
 Stérilité mâle 74, 91, 102, 122
 cytoplasmique 14, 74
 création des lignées A 125
 génétique de 74, 129
 restauration et non restauration de 122, 123
 Stérilité mâle cytoplasmique 14
 génétique de 74
Striga 3
 criblage pour la résistance 147-148
 parcelle de criblage 148
 Structure des fleurs 106
 Subdivision des populations 67
 Subventions 177
 Sudangrass 2
 Symboles, génétique de 38
 Systèmes pedigrees 85
 caractéristiques 85
 désignation par des symboles 130
 isolats 67
 lignées uniformes 90
 petites populations 68
 plusieurs localisations 88
 pour hybridation 91

- pratiques courantes et enregistrement 85-91
 - sélection des familles S, 134
 - sélection massale 130-131
 - sélection récurrente 135
 - sélection récurrente réciproque 135
 - subdivision pour modifier les fréquences géniques 67
 - techniques de sélection 130-136
 - une station ayant plus d'une saison de culture par an 86, 87
 - une station ayant une saison de culture par an 86
- Talles 13
- Tampons caoutchouc 161
- Tanin 147, 151
- Taxa spontanés, distribution de 10-11
- Technique des rangs infectants 146, 147
- Techniques de travail au champ 156
- Télophase 32, 33, 34, 35
- Température et croisement 102
- Teneur en acide cyanhydrique génétique de 76
- Testa 37
- Tests pour déterminer la qualité alimentaire 154
- farine 154
 - grain 154
 - "roti" 154
 - variation génétique 154
- Texture, effet sur la qualité du grain 153
- Tige de goût insipide, génétique de 76
- Tiges
- dures et sucrées, génétique de 76
- Tô 151
- Tortilla 151, 153
- Translocation 49
- Trichomes, génétique de 76, 142
- Trichothecium* 150
- Ugali 151
- Ugi 151
- Unité graphique 45
- Utilisations 1
- Variabilité et sélection 80
- Variation 30
- Variétés, dénominations 95-97
- Vin 151
- Virus de la mosaïque nanisante du maïs 3
- génétique de résistance 76
- Vulgarisation et industrie semencière 170, 179, 182
- Xénie 37
- Zygote 33, 37