

UNIVERSITE DE KAMINA

FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE PHYTOTECHNIE

COURS D'AMELIORATION
SPECIALE DES PLANTES
CULTIVEES

Ir. Nyembo Kimuni Luciens
Docteur en Sciences Agronomiques

Professeur d'Université

Notes de cours

Année Académique 2013 - 2014

Juin 2014

III. Amélioration des céréales	68
Les céréales majeurs	68
3.1. Le riz (<i>Oryza saliva</i> L.)	68
3.1.1. Botanique	68
3.1.2. Système de reproduction	71
3.1.3. Critères généraux de sélection	74
3.1.4. Méthodes d'amélioration	76
3.1.5. Méthodes transgéniques appliquées au riz	83
3.1.6. Multiplication et diffusion des nouvelles sélections	84
3.2. Le maïs (<i>Zea mays</i> L.)	86
3.2.1. Botanique	86
3.2.2. Système de reproduction	87
3.2.3. Critères généraux de sélection	93
3.2.4. Méthodes et techniques d'amélioration	98
3.2.5. Amélioration du maïs par hybridations interspécifiques	111
3.2.6. Méthodes transgéniques appliquées au maïs	112
3.2.7. Production de semences	113
3.3. Le blé (<i>Triticum sp.</i>)	115
3.3.1. Origine et domestication	115
3.3.2. Amélioration variétale	115
3.3.3. Perspectives d'avenir	116
IV. Amélioration des plantes à tubercules	118
4.1. Le manioc (<i>Maniltot esculenta</i> CRANTZ)	118
4.1.1. Botanique	118
4.1.2. Système de reproduction	119
4.1.3. Critères généraux de sélection	120
4.1.4. Méthodes de sélection	120
4.1.5. Nouvelles technologies appliquées à l'amélioration du manioc	121
4.1.6. Multiplication et diffusion de nouvelles sélections	121
a	
4.2. La patate douce (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) LAM.)	122
4.2.1. Botanique	122
4.2.2. Système de reproduction	123
4.2.3. Génétique	123

4.2.4. Critères de sélection	124
4.2.5. Méthodes de sélection	127
4.2.6. Nouvelles technologies appliquées à l'amélioration de la patate douce	129
4.2.7. Multiplication et diffusion de matériel sélectionné	130
4.3. La pomme de terre (<i>Solanum sp.</i>)	132
4.3.1. Origine et domestication	132
4.3.2. Amélioration et variétés	132
4.3.3. Perspectives d'avenir	133
Chapitre V: Amélioration des légumineuse alimentaires	135
5.1. Haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	135
5.1.1. Origine	135
5.1.2. Description	136
5.1.3. Classification	138
5.1.4. Amélioration et variétés	140
VI. Amélioration d'une plante textile	142
6.1. Le cotonnier (<i>Gossypium spp.</i>)	142
6.1.1. Botanique	142
6.1.2. Système de reproduction	147
6.1.3. Critères de sélection	150
6.1.4. Méthodes de sélection	150
6.1.5. Cultivars d'origine interspécifique déjà commercialisés	162
6.1.6. Travaux de transgénèse en amélioration cotonnière	166
6.1.7. Multiplication et diffusion de nouvelles sélections	167
VII. Amélioration des plantes stimulantes	170
7.1. Les caféiers (<i>Coffea spp.</i>)	170
7.1.1. Botanique	170
7.1.2. Amélioration des caféiers diploïdes et allogames	173
7.1.3. Amélioration du caféier tétraploïde et autogame	179
7.1.4. Hybridations interspécifiques	184
7.1.5. Nouvelles technologies appliquées aux caféiers	187
7.1.6. Multiplication et diffusion de nouvelles sélections	188
7.2. Le cacaoyer (<i>Theobroma cacao</i> L.)	189
7.2.1. Botanique	189

7.2.2. Système de reproduction	194
7.2.3. Principaux critères de sélection	196
7.2.5. Méthodes de sélection	197
7.2.6. Utilisation de nouvelles technologies	203
7.2.7. Multiplication et diffusion de matériel sélectionné	203
VIII. Amélioration de plantes à fruits	205
8.1. Les bananiers et les plantains (<i>Musa spp.</i>)	205
8.1.1. Botanique	205
8.1.2. Système de reproduction	207
8.1.3. Critères de sélection	210
8.1.5. Méthodes de sélection	210
8.1.6. Utilisation des biotechnologies cellulaires et moléculaires	211
8.1.7. Multiplication et diffusion de matériel sélectionné	212
Conclusion	213
Références bibliographiques	214
Annexes	216

Abréviations utilisées dans ce cours

ADN	Acide désoxyribonucléique
Af	Climat des forêts pluvieuses tropicales de basse altitude suivant KOPPEN
AGCD	Administration Générale de la Coopération au Développement
ARN	Acide ribonucléique
AVRDC	Asian Vegetable Research and Development Center
AVROS	Aigemeen Vereniging van Rubberplanters ter Oostkust van Sumatra
Aw	Climat de savanes de plaines suivant KOPPEN
Bs et Bw	Steppes et déserts suivant KOPPEN
CAM	Candidats arbres-mères
CEI	Communauté des Etats indépendants (ex URSS)
Cf	Climat des forêts pluvieuses tropicales d'altitude suivant KOPPEN
CIAT	Centro Intemacional de Agricultura tropical
C/N	Rapport carbone-azote
Cw	Climat de savanes d'altitude suivant KOPPEN
F1, F₂, Fⁿ ...	Filiations 1,2, 3 ... en situation pédigree ou généalogique
GCRA.I	Groupe Consultatif de la Recherche Agronomique Internationale
HAR	Hybride trispécifique " <i>hirsutum - arboreum - raimondit</i> "
HAT	Hybride trispécifique " <i>hirsutum - arboreum - rhurberi</i> "
HD	Hybride double obtenu en croisant deux hybrides simples
HS	Hybride simple obtenu en croisant deux lignées
HTV	Hybride trois voies obtenu en croisant un hybride simple par une lignée
ICRISAT	International Crop Institute for Semi-Arid Tropics
IFCC	Institut Français du Café et du Cacao
IH	Index huile
IITA	International Institute of Tropical Agriculture
INEAC	Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo
INTSOY	International Soybean Program
IP	Indice PRESSLEY
IPGRI	International Plant Genetic Resources Institute
IR	Index régimes
IRCA	Institut de Recherche sur le Caoutchouc en Afrique
IRHO	Institut de Recherches des Huiles et Oléagineux de Côte-d'Ivoire
IRGC	International Rice Germplasm Center
IRRI	International Rice Research Institute
ISABu	Institut des Sciences Aomnr.n...;n •• ~" ..I ..D .. _..J:
ISVEX	International Soybean Variety Evaluation Experiment
NIFOR	Nigerian Institute for Oil Palm Research
RAPD	Ra;dom Amplification of Polymorphic DNA
RFLP	Restriction Fragment Lenght Polymorphism
RRIM	Rubber Research Institute of Malaysia
S₂, S₃ ... S_n	'rl"e d'allèles dans le cas d'une incompatibilité gamétophy-
\VAIFOR	West African Institute for Oil Palm Research

Introduction

Il convient de rappeler que l'amélioration des plantes (ou phytogénétique appliquée) peut être définie comme l'art et la science de la création de variétés. Les bases de l'amélioration des plantes sont multidisciplinaires. Elles dépendent de différentes disciplines scientifiques telles que la biologie végétale, la cytogénétique, la physiologie végétale, la biochimie, la biophysique, la phytopathologie, la biométrie et statistique, l'informatique et les méthodes d'investigation.

Il a été souligné que la science ne suffisait pas pour devenir un bon sélectionneur: elle doit être soutenue par une bonne connaissance de la plante, de sa biologie, de sa culture, de ses maladies et ses parasites sans oublier le milieu.

L'améliorateur doit garder un contact intime, presque physique avec la plante qui doit être améliorée. Il doit, en effet, suivre son développement au jour le jour, étudier en permanence ses réactions aux conditions de son environnement. Cette façon de travailler est la seule qui permette de déceler dans la population étudiée les quelques individus capables de faire progresser la sélection.

L'idéotype que l'améliorateur tentera ainsi de créer devra mieux répondre aux besoins de l'homme et de ses industries.

Ces dernières années, il a été observé que les rendements des grandes cultures ne cessent d'augmenter. Si ceux-ci sont dus en grande partie aux améliorations phytotechniques, il ne faut cependant jamais oublier que la moitié des gains réalisés peut être attribuée aux progrès génétiques, à l'amélioration des variétés nouvellement créées.

Il a été souligné que l'objectif principal de l'amélioration des plantes consiste à l'augmentation de la productivité en matières utiles. Nous avons ajouté que l'évolution des qualités du produit marchand est également un objectif important.

Depuis le début de l'agriculture, les plantes cultivées se sont progressivement améliorées grâce à l'intervention plus ou moins consciente des cultivateurs. La sélection des plantes et des animaux a fait des progrès particulièrement pendant tout le dix-neuvième siècle, avant le développement de génétique. C'est surtout au vingtième siècle que les progrès ont été plus importants et cela grâce au développement d'autres disciplines dont dépend l'amélioration des plantes cultivées et citées ci-dessus.

C'est dans ce cadre que ce cours d'amélioration spéciale des plantes cultivées examinera pour chaque plante cultivée les techniques particulières d'amélioration qu'il faudra lui appliquer. Les méthodes traditionnelles d'améliorations parfois associées aux nouvelles techniques (biotechnologie végétale et génie génétique) seront proposées.

Ce cours est divisé en plusieurs parties comprenant:

- Les buts de l'amélioration des plantes cultivées dans les régions tropicales
- Amélioration des principales plantes oléagineuses (palmier à huile, arachide)
- Amélioration des céréales majeures (riz, maïs, blé)
- Amélioration des plantes à tubercules (manioc, patate douce, pomme de terre)
- Amélioration des légumineuses alimentaires (haricot commun)
- Amélioration d'une plante textile (cotonnier)
- Amélioration des plantes stimulantes (caféiers, cacaoyer)
- Amélioration des plantes à fruits (bananiers et plantains).

1. LES BUTS DE L'AMELIORATION DES PLANTES CULTIVEES DANS LES REGIONS TROPICALES

Il faut rappeler qu'en premier grade d'Ingénieur Agronome en phytotechnie, on a vu les principales notions d'amélioration générale. Certains phénomènes biologiques du monde des phanérogames ont été précisés. Leur connaissance va nous permettre de mieux comprendre et de mieux raisonner les techniques qui seront utilisées dans l'amélioration des plantes cultivées. L'amélioration spéciale examine, en effet, pour chaque plante étudiée, les techniques particulières qu'il faudra lui appliquer.

L'étude de l'amélioration d'une plante cultivée comprendra donc un certain nombre de données qui concernent les différents aspects de sa biologie. Nous les passons rapidement en vue.

La biologie de la plante, envisagée du point de vue de sa relation avec les différentes techniques d'amélioration possibles (autofécondation - hybridation). Il est évident: - qu'une plante autogame sera traitée différemment qu'une plante allogame; - que l'amélioration d'une plante dioïque ou monoïque dicline devra être pensée différemment de celle d'une espèce hermaphrodite; - qu'une plante pérenne pouvant être greffée ou bouturée sera traitée différemment qu'une plante annuelle à multiplication générative; - qu'un genre monospécifique ou petit nombre d'espèces sera traité autrement qu'un genre comprenant de nombreuses espèces.

Les caractères génétiques et leurs corrélations, utiles à connaître afin d'utiliser à bon escient les méthodes d'amélioration qui leur sont spécifiques. Un caractère mono- ou oligogénique se travaille différemment d'un caractère polygénique à effets additifs ou épistatiques, un caractère dominant d'un caractère récessif, les liaisons géniques favorables ou défavorables devant soit être favorisées soit rupturées.

Les méthodes d'amélioration qui résultent de la biologie des plantes et des caractères génétiques de celles-ci .

Les méthodes de conservation de la variété créée avec ses caractéristiques génétiques propres: soit "pureté-homozygotie", soit "variabilité-hétérozygotie contrôlée".

Le mode de multiplication dépendant également de la biologie de la plante. Une plante autogame se multiplie différemment d'une plante allogame, une plante à multiplication générative différemment d'une plante à multiplication végétative.

La méthode de diffusion dépendant également du mode de multiplication de la plante et du type d'agriculture à laquelle elle doit s'adapter.

Dans leurs principes, les buts de l'amélioration sont évidemment les mêmes pour toutes les plantes cultivées dans le monde. Les ordres de priorité des buts poursuivis sont cependant parfois différents si on se situe en région tropicale.

. 1. Amélioration de la productivité

Il est évident que le premier but recherché est presque toujours la productivité. Mais cette productivité peut être obtenue soit directement par l'augmentation de la productivité potentielle, soit indirectement par analyse préalable des facteurs de la productivité avec induction successive de ces facteurs dans la variété en culture.

L'amélioration directe de la productivité potentielle d'une plante cultivée sera généralement observée visuellement ou pondéralement, avec détection grossière des souches productives, avec contrôle de cette productivité au travers de leurs descendances.

L'analyse des facteurs de la productivité et l'induction de ces facteurs dans la variété en culture seront souvent plus efficaces si pas plus rapides.

Il s'agira par exemple:

- de la recherche d'une plus grande surface des limbes foliaires;
- d'une recherche de types présentant une grande activité photosynthétique ;
- d'une extension du système racinaire;
- d'une meilleure efficacité de la succion racinaire par recherche d'une plus grande tension osmotique dans les tissus;
- d'une plus grande dimension de la partie aérienne de la plante. Le cas du *Cinchona* est exemplaire, l'augmentation du volume de la plante permettant d'obtenir une plus grande masse d'écorce qui contient le sulfate de quinine;
- d'une réduction du volume des plantes permettant de planter plus d'individus par unité de surface. On diminuera, par exemple, chez le cotonnier, le nombre et la longueur des ramifications monopodiales (végétatives) ; on remplacera les arachides rampantes par des arachides dressées; on diminuera chez l'*Elaeis* le diamètre des couronnes;
- d'une augmentation de volume des fruits (cabosses de cacaoyer plus volumineuses); .
- d'une réduction du volume des fruits lorsque ce volume est en corrélation inverse avec le nombre de fruits produits et que des insectes piqueurs provoquent la chute d'un certain pourcentage de fruits (cotonnier) ;
- d'une augmentation du nombre de rangées de graines dans un épi (maïs) ;
- d'une diminution de la chute prématurée des jeunes fruits "shedding" par une meilleure balance hormonale: auxines, acide abscissique, gibbérelline, cytokinine, dégagement d'éthylène, etc. (cotonnier - arbres fruitiers) ;
- d'une meilleure résistance à la sécheresse grâce, par exemple, à la présence de stomates à fermeture plus précoce, d'une pilosité protégeant les stomates et abaissant l'évapotranspiration stomatique et cuticulaire par diminution de l'effet de la brise;
- d'une augmentation des teneurs en principe actif, par exemple une teneur en sulfate de quinine qui passe de 4 à 16 % ou une teneur en pyréthrine qui passe de 0,6 à 2,4 % ;
- d'une amélioration du rapport produit marchand/déchets: réduction du pourcentage de coques chez l'arachide, réduction du pourcentage de rachis chez le maïs; réduction du pourcentage de coques (*tenera*) et augmentation de la teneur en huile du mésocarpe du fruit de l'*Elaeis*, augmentation du rendement à l'égrenage, c'est-à-dire du rapport fibre/graines chez le cotonnier.

Mais, l'augmentation de la productivité réelle peut également être obtenue indirectement:

- par une augmentation de la résistance ou par une plus ou moins grande tolérance aux insectes, nématodes, maladies fongiques, bactériennes ou virales. Par exemple: résistance à l'helminthosporiose du maïs, résistance à la cercosporiose ou à la rosette de l'arachide, résistance à la mosaïque du manioc,

- résistance à l'oïdium de l'hévéa, résistance à la bactériose, à la trachéomycose, à la fusariose du cotonnier et tolérance aux *Lyglls* et aux nématodes, à la résistance du caféier à la rouille. Tous ces travaux sur les résistances aux maladies et aux insectes sont très payants dans les pays tropicaux en développement où les traitements phytosanitaires sont coûteux, difficiles et souvent inexistant ;
- par une meilleure adaptation de la culture à la région: en raccourcissant ou en allongeant le cycle végétatif d'une plante (maïs d'avant-culture en Ubangi, cotonniers est-africains).

.2. Amélioration des qualités du produit marchand

Les qualités sont diverses et attachées à des produits marchands bien définis. Il s'agit, par exemple:

- des qualités organoleptiques du café, du thé, du tabac, ... ;
- de la teneur en huile qu'on cherche à augmenter au-delà de 50 % chez l'arachide industrielle et qu'on cherche, par contre, à diminuer chez l'arachide de bouche;
- de la texture des graines: maïs dur (flint) ou tendre (flat), riz corné ou amylicé;
- de l'aspect du grain: riz allongé ou arrondi;
- de l'amélioration des caractéristiques technologiques du produit: amélioration de la longueur, de la résistance, de la finesse, de l'allongement, de la maturité des fibres de coton; augmentation de l'indice de conservation de la plasticité et diminution de l'indice de viscosité chez le latex de l'hévéa;
- de l'amélioration des teneurs en protéines et de leurs acides aminés chez les légumineuses alimentaires ou chez le maïs;
- de l'élimination de produits toxiques dans les graines ou les tubercules: élimination du gossypol dans la graine de coton, élimination de 1 HCN dans les tubercules de manioc.

.3. Amélioration des conditions de récolte

Les exemples sont multiples:

- la croissance moins rapide du stipe chez l'*Elaeis* dans les descendances d'hybrides *Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera* permet une récolte prolongée dans les plantations;
- la présence de bractées caliculaires sessiles chez le cotonnier facilite l'obtention d'un coton propre, donc de grade supérieur;
- la modification du port du cotonnier vers un type en fuseau étroit et allongé est

possible grâce à l'élimination des branches végétatives (monopodiales) et la réduction de la longueur des branches génératives (sympodiales). L'améliorateur tente d'augmenter leur nombre tout en raccourcissant leurs entrenœuds (type "cluster"). L'obtention de tels cotonniers, à fructifères nombreuses et à faible nombre d'entrenœuds, permet de limiter la période de maturation, donc de récolte. Le rythme de floraison vertical est, en effet, trois fois plus rapide que le rythme horizontal. La production est donc obtenue en une période plus courte, donc plus concentrée. Les caractéristiques technologiques des fibres sont également homogènes, car les variations de celles-ci sont moins importantes dans le sens vertical qu'horizontal;

- la recherche, chez le manioc, de tubercules gros et courts plutôt que longs et grêles qui cassent à l'arrachage. On recherche également des tubercules sessiles plutôt que pédonculés, car ils se récoltent plus facilement et permettent la récolte mécanique;
- la recherche, chez l'hévéa, d'arbres répondant bien aux stimulants.

Les buts poursuivis par l'améliorateur sont multiples. Ils varient dans le temps, en fonction des fluctuations des marchés, de l'évolution du parasitisme, de la main-d'œuvre, etc.

Pour certains caractères, il est possible de travailler de manière relativement simple par métissage intraspécifique et fixation, dans la descendance, des formes intéressantes. Pour d'autres caractères, qui n'existent pas ou qui n'existent plus dans l'espèce cultivée, il faut recourir à l'introggression au départ d'espèces voisines en utilisant, au mieux, les délicats mécanismes des échanges de matériel génique entre espèces différentes, ces mécanismes variant suivant l'écart phylogénétique plus ou moins grand qui sépare les espèces utilisées.

.4. Pondération des buts à poursuivre

Il est important pour l'améliorateur de faire une juste estimation des buts à poursuivre dans une région bien définie. Ce sera pour lui un gage de succès dans la mission qu'il doit y poursuivre. Souvent, ces buts varieront dans l'espace et dans le temps.

Dans l'espace, l'importance et la priorité des buts varieront en fonction:

- des conditions écologiques, suivant que la région envisagée est sèche ou humide, riche ou pauvre, à fort ou faible parasitisme, avec une ou deux cultures au cours de la saison des pluies;
- de la situation géographique, suivant que la région est proche ou éloignée de la mer, à fort ou faible réseau de communications (fleuve, chemin de fer, routes, ...);

- de la situation ethnographique, population dense ou clairsemée, bons ou mauvais agriculteurs.

Dans le temps, l'importance et la priorité des buts varieront d'après: -

l'évolution des marchés,

- l'évolution des méthodes culturales dans une région donnée,
- l'évolution sociale des populations,
- l'évolution politique du pays, tendance à l'autarcie ou au commerce international.

Ces facteurs ont une influence sur les cultures à favoriser, mais également sur le type de production.

Voici quelques exemples pour appuyer ce qui précède.

Dans une région riche ou limitée en étendue (donc homogène), les qualités technologiques d'un produit passeront avant l'adaptabilité ou la rusticité de la plante. C'est le cas du cotonnier dans la plaine de la Ruzizi au Burundi et au Congo. On a toujours choisi pour cette région limitée une variété présentant une haute valeur technologique des fibres.

Dans les régions pauvres ou très étendues (donc hétérogènes), l'accent doit être mis sur la rusticité et la polyvalence, avec une certaine tolérance pour la qualité. C'est le cas d'une variété d'arachide (A 65) originaire du Brésil, de type Valencia, cultivée sur toute l'étendue du Congo.

Dans les régions tropicales présentant une seule saison des pluies au cours de laquelle on ne pratique qu'une seule culture, la productivité primera sur la précocité. C'est le cas de la culture arachidière au Sénégal où on utilise des variétés relativement tardives de type Virginia. Dans les régions tropicales présentant deux saisons de pluies, donc deux saisons culturales, la précocité primera sur la productivité. Ce sont les maïs ou arachides de première saison dont la durée de végétation ne dépasse pas 90 jours.

Dans les régions peu parasitées ou dans les régions où les traitements phytosanitaires sont généralisés, on donnera la primauté aux facteurs de productivité potentielle. Dans les régions fort parasitées ou dans les régions où les traitements phytosanitaires ne sont pas envisagés, on travaillera surtout la résistance ou la tolérance aux maladies et aux insectes plutôt que la productivité potentielle. Il est, en effet, inutile d'augmenter celle-ci si elle doit en fin de compte être détruite par les maladies et les insectes.

Les conditions écologiques auront également un impact certain sur l'option à prendre dans l'amélioration du théier. Dans les régions tropicales de basse altitude (climat

de mousson), on travaillera surtout la productivité dans le cadre d'un goût moyen, passe-partout, à améliorer ultérieurement par des mélanges ("Cblending") avec de petites quantités de thé provenant de régions privilégiées. Dans les régions équatoriales d'altitude (1 900 à 2200 m), on travaillera, au contraire, les qualités organoleptiques (goût) du produit. Celles-ci se développent le mieux dans des zones froides et humides. Une plus faible productivité y est largement compensée par un prix plus élevé.

Dans les régions où la population nombreuse est composée de bons cultivateurs, bien encadrés, travaillant par exemple en coopérative, on peut envisager de diffuser chaque année de nouvelles semences de maïs. La productivité primera la stabilité génétique et on diffusera chaque année des hybrides de première génération (hybrides doubles par exemple). Dans les régions où, au contraire, les populations sont disséminées, sans contrôle possible, on diffusera des maïs moins productifs, mais stables (composite, population synthétique).

Les marchés peuvent également conditionner les buts de l'amélioration.

Jadis, les filatures anglaises exigeaient des fibres plus longues que les filatures françaises ou belges. Cela signifiait que les régions (Ouganda, Soudan, Égypte) qui exportaient leur coton vers l'Angleterre tendaient à obtenir une fibre relativement longue (1" 1/8), tandis que les régions (Congo, République Centre Africaine, Tchad) qui exportaient leur coton vers la France, la Belgique, les PaysBas, l'Allemagne tendaient, au contraire, à produire une fibre moyenne (1" 1/32). Comme, à l'époque, il existait une corrélation inverse entre la productivité potentielle et la longueur de la fibre, il fallait veiller à ce que le revenu à l'unité de surface reste équivalent dans les deux cas.

Les marchés peuvent évoluer rapidement et même parfois brusquement. En Afrique Centrale, pendant longtemps, la mouture des maïs s'est pratiquée par pilonnage ou par écrasement entre deux pierres. Il fallait donc attacher beaucoup d'importance à la texture du grain. Celui-ci devait être de type farineux ("flat") afin de faciliter la mouture manuelle. Les nouvelles variétés améliorées devant être adoptées par les populations locales, cette texture farineuse primait toutes les autres améliorations (productivité, résistance aux insectes). Dès l'apparition de la mouture mécanique (moulins), le caractère farineux des graines a beaucoup perdu de son importance. On peut aujourd'hui diffuser des maïs nettement plus cornés ("flint") et cela permet de mettre davantage l'accent sur la productivité, la résistance aux maladies, la résistance au charbon.

L'utilisation de caoutchoucs synthétiques a obligé les améliorateurs à augmenter la plasticité et à diminuer la viscosité des caoutchoucs naturels. La modification de ces caractères a parfois pris le pas sur d'autres objectifs jadis prioritaires.

Devant la concurrence des fibres synthétiques, les spécialistes du coton ont dû très rapidement améliorer la résistance mécanique des fibres naturelles (Indice

Pressley). Cela a permis de développer très largement le secteur des hybridations interspécifiques et de mettre au point des méthodes de rupture de liaisons géniques entre caractères inversement corrélés (forte résistance de la fibre, faible productivité).

Les buts à atteindre par l'amélioration végétale dans les pays en développement (tropicaux) varient généralement davantage que dans les pays développés (tempérés). C'est la raison pour laquelle l'améliorateur doit constamment rester attentif à l'évolution des facteurs généraux affectant la région pour laquelle le travail d'amélioration est réalisé. C'est le seul moyen d'adapter la production végétale de ces régions à la fois à leur évolution interne, mais aussi aux changements des marchés internationaux.

II. AMELIORATION DES PRINCIPALES OLEAGINEUSES

2.1. Le palmier à huile

Elaeis guineensis JACQ

$$2n = 32$$

.1.1. Botanique

Le palmier à huile appartient à l'ordre des Palmales, famille des *Palmae* et se rattache à la sous-famille des *Cocoideae*, tribu des *Cocoinae*. Il est cultivé pour son fruit, une drupe, exploité pour sa pulpe qui fournit l'huile de palme et pour son amande qui contient l'huile de palmiste.

Le genre *Elaeis* comporte trois espèces:

- *Elaeis guineensis* JACQ., palmier d'origine africaine. Les peuplements de cette espèce occupent, le long de la côte occidentale d'Afrique, une vaste bande parallèle au rivage de 50 à 200 km de large et de plus de 6 000 km de long, s'étendant du Sénégal à l'Angola. Au niveau de l'équateur, l'aire de dispersion s'enfonce à l'intérieur des terres jusqu'à 2.000 km des côtes. Son extension maximale se situe dans la cuvette congolaise.

¹ D'après les notes de R. VANDERWEYEN (1970).

- *Elaeis oleifera* (HBK) CORTÈS (syn. *Elaeis melanococca* GAERTNER), palmier d'origine américaine. Il se rencontre à l'état spontané en Amérique Centrale et dans le Nord de l'Amérique du Sud. Au Brésil, on le rencontre le long de l'Amazone et sur les rives d'un de ses affluents, le Madeira. On le signale au Surinam, en Colombie, au Panama, au Costa-Rica. Il se distingue de son confrère africain par plusieurs caractères. Nous n'en citerons que quelques-uns:
 - vitesse de croissance du stipe nettement moins grande de celle de *E. guineensis*,
 - nombre de fleurs par inflorescence femelle nettement plus élevé que chez *E. guineensis*, ce qui entraîne des régimes nettement plus gros, des fruits plus petits, un pourcentage de fruits parthénocarpiques et avortés plus élevé. Son taux d'huile sur régime est peu élevé en raison de ses nombreux fruits parthénocarpiques et avortés et d'une faible épaisseur de la pulpe. Si ce palmier américain offre peu d'intérêt pour la production industrielle de matière grasse, il est cependant susceptible d'être utilisé avec succès par l'améliorateur (croissance ralentie du stipe, résistance aux maladies).
- *Elaeis guineensis* var. *madagascariensis* BECCARI, palmier originaire de Madagascar comme son nom l'indique. Il se rencontre sur la côte ouest de la Grande Ile. Les fruits sont très petits, leur mésocarpe est mince, les régimes plus volumineux. Son intérêt pour la culture est faible. Il est cependant susceptible de fournir en croisement avec des palmiers africains, des descendances intéressantes.

- Formes observées chez *Elaeis guineensis*

Depuis la fin du XIX^e siècle, époque où on ne reconnaissait que deux variétés en Angola: *macrosperma* et *microsperma*, de nombreuses classifications ont été proposées.

Aux Indes néerlandaises, la classification établie par l'AVROS ("Algemeen Vereniging van Rubberplanters ter Oostkust van Sumatra") était basée, avant tout, sur l'épaisseur de l'endocarpe (coque) et du mésocarpe (pulpe). Parfaitement adaptée au matériel relativement homogène rencontré à Sumatra, elle distinguait quatre variétés ou types:

- var. *macrocarpa* (type "Congo"), endocarpe d'une épaisseur de 4 à 8 mm, représentant ± 50 % du poids du fruit, mésocarpe mince de 1 à 2,5 mm, amande de dimension variable;
- var. *dura* (type "Deli"), endocarpe d'une épaisseur de 2 à 5 mm, correspondant à environ 30 % du poids du fruit, le mésocarpe peut varier entre 2 et 6 mm d'épaisseur, grosseur de l'amande variable;
- var. *tenera* (type "Lisombe"), endocarpe de 1 à 2,5 mm, soit ± 10 % du poids du fruit, épaisseur du mésocarpe faible ou élevée, amandes de toutes les dimensions;

_ var. *pisifera*, longtemps considérée comme un cas tératologique et caractérisée par l'absence d'endocarpe.

En Afrique, les nombreuses formes rencontrées dans les palmeraies spontanées ont donné lieu, dans différents pays, à de nombreux essais de classification parmi lesquels il faut rappeler, entre autres, ceux de CHEVALIER, BECCARI, JUMELLE, ANNET, BUCHER et FICKENDEY.

D'autres tentatives ont été faites au Centre de Yangambi entre 1939 et 1952. En 1952, il a été procédé à la dernière mise au point de la classification qui reste généralement admise de nos jours. Elle repose sur les caractères retenus dans les divers essais antérieurs (morphologie du fruit et de la feuille) et, aussi et surtout, sur leur transmission héréditaire.

Les caractères suivants sont envisagés:

- _ la présence ou l'absence de carpelles supplémentaires,
- _ l'épaisseur de l'endocarpe et l'existence ou non de fibres lignifiées dans le mésocarpe,
- _ la pigmentation du fruit avant maturité,
- _ la disposition des folioles sur le rachis de la palme.

Présence ou absence de carpelles supplémentaires

Chez les fruits de certains palmiers (Figure .1), on observe, en lieu et place de la couronne staminodiale, une gaine de carpelles soudés entre eux sur presque toute la longueur. Ils sont munis assez souvent d'un rudiment d'endocarpe et surmontés d'un stigmate. Ces palmiers dénommés *poissoni* sont connus sous des vocables très divers: "palmiers à oreilles" pour les Français, "diwakkawakka" pour les Allemands et les Néerlandais et "mantled type" pour les Anglais.

À première vue, cette sous-espèce semble présenter un certain intérêt du fait de son plus haut pourcentage en pulpe sur fruit. Néanmoins, la richesse en huile des carpelles supplémentaires est nettement inférieure à celle du mésocarpe du fruit proprement dit. En outre, le taux de fruits normaux sur régime est sensiblement moins élevé que chez les types ordinaires; cela résulte principalement de la forme globuleuse des fruits qui laissent entre eux des espaces inoccupés, contrairement à ce que l'on constate pour des fruits allongés.

Elaeis guineensis de type *poissoni* a été signalé dans toute la zone de répartition du palmier à huile.



Figure .1 - Coupe longitudinale d'un fruit de *Elaeis guineensis*

de type *poissoni*.

- a. d'après JANSSENS [1927] : les carpelles supplémentaires montrent un développement complet -
 b. d'après BEIRNAERT [1935].

Épaisseur de l'endocarpe

Au double point de vue économique et taxonomique, le caractère "épaisseur coque" est déterminant. En effet, des trois composants du fruit - pulpe, coque et amande -, l'élément sans valeur, celui que le sélectionneur devra réduire au minimum, est la coque.

Actuellement, la classification généralement acceptée ne comporte plus que trois types: *pisifera*, *tenera* et *dura* (Figure .2).

1°) Type *pisifera*

Le fruit est complètement dépourvu d'endocarpe, il se compose uniquement d'un mésocarpe relativement épais et d'une amande de dimension assez réduite. Alors que chez les fruits à coque le diamètre de l'opercule, qui recouvre l'embryon, est égal tout au plus à celui du pore germinatif (qu'il doit traverser lors de la germination), chez le *pisifera* l'opercule est très développé et peut recouvrir parfois près de la moitié de la surface de la graine. De plus, en coupe transversale, la pulpe à maturité est parsemée de points noirs dont la densité augmente à mesure que l'on se rapproche de l'amande. Ce sont des fibres lignifiées qu'une coupe longitudinale fait apparaître clairement. Elles contribuent à la protection de la graine, rôle qui est assuré par la coque dans les autres types de fruits.

Le plus souvent, les *pisifera* se caractérisent aussi, dans leur jeune âge, par la formation d'un grand nombre de régimes dont les fruits avortent. De là, les noms

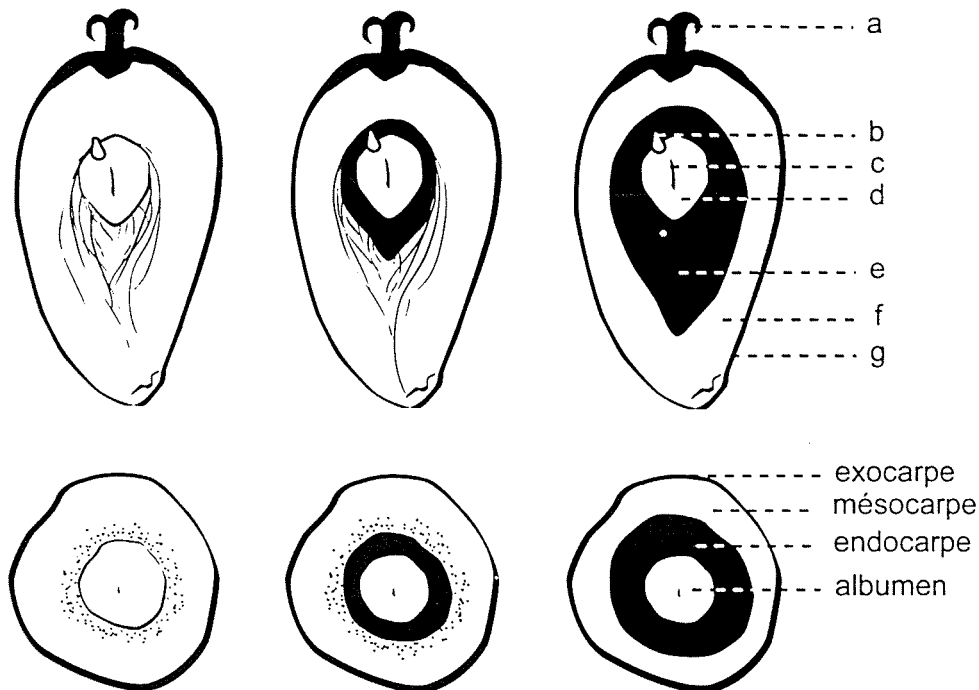


Figure .2 - Types de fruits chez *Elaeis guineensis*. La coupe d'un fruit permet de distinguer, de l'extérieur vers l'intérieur l'exocarpe, l'endocarpe et le mésocarpe. La classification en type *pisifera*, *tenera*, *dura* se fait, notamment, sur base de l'épaisseur de l'endocarpe (coque).

a: stigmate trifide - b : embryon - c : cavité centrale - d : albumen - e : endocarpe (coque) f: mésocarpe (pulpe) - g : exocarpe.

de stériles ou avortés qui leur furent donnés à Yangambi au Congo, lors de leur apparition en quantité assez importante (environ 25 %) dans les premiers croisements "*tenera x tenera*". L'avortement se traduit extérieurement par le dessèchement des infrutescences; il a lieu soit quelques jours après l'anthèse, soit après un laps de temps beaucoup plus long, pouvant aller jusqu'à trois ou quatre mois.

Vers l'âge de cinq à six ans, certains *pisifera* produisent des régimes dont quelques fruits seulement arrivent à maturité. Ils sont la plupart du temps dépourvus d'amande; toutefois l'emplacement de celle-ci est très bien marqué par la présence d'une cavité de 2 à 3 mm de diamètre.

En règle générale, ce n'est que vers huit à neuf ans que les *pisifera* commencent à donner des régimes portant quelques fruits munis d'une amande mais toujours dépourvus de coque.

À noter qu'il n'y a rien d'absolu dans ce comportement des palmiers *pisi(era)*.

Il est des arbres qui, malgré leur âge avancé, sont toujours porteurs d'une couronne abondante d'infrutescences entièrement pourries. Par contre, il existe des individus de trois à quatre ans qui produisent déjà des fruits typiquement *pisi(era)*.

Il y a lieu d'insister sur le fait que le *pisi(era)* donne, dans certaines conditions, des régimes dont les fruits mûrissent; il s'agit là, le plus souvent mais pas toujours, d'un phénomène intermittent. En effet, après avoir produit quelques infrutescences dont certains fruits arrivent à complet développement, l'arbre en forme ensuite d'autres qui avortent complètement.

De plus, les régimes qui arrivent à maturité présentent d'habitude un taux de fruits très faible; les fleurs de nombreux épis ne se nouent pas et leur pourriture subséquente crée un milieu particulièrement favorable à la multiplication des insectes et des champignons; ils peuvent, dans certains cas, s'attaquer aux fruits en voie de développement. En principe, le *pisi(era)* doit donc être considéré comme un palmier pratiquement improductif.

Une autre caractéristique frappante des *pisi(era)* est leur développement végétatif plus luxuriant que celui des *tenera* et des *dura*. À l'âge de six ou sept ans, ils se reconnaissent à distance au diamètre de leur stipe et à l'ampleur de leur frondaison.

D'une façon générale, le caractère "avortement" semble lié à l'absence de coque; néanmoins, il existe quelques *pisi(era)* fertiles produisant régulièrement des fruits normaux. De tels palmiers pourraient présenter un certain intérêt pour la sélection.

2°) Types *dura* et *tenera*

Le type *dura* est le mieux représenté - et de loin - dans les peuplements naturels et spontanés. Dans ces derniers, l'épaisseur de la coque varie, pour les fruits extérieurs, de 2,5 à 6 ou 7 mm, tandis que chez les *tenera*, elle dépasse rarement 2 mm.

L'épaisseur de l'endocarpe n'est pas constante pour tous les fruits d'un même arbre. Elle fluctue non seulement d'un régime à l'autre, mais également au sein d'un même régime. Il s'ensuit que pour déterminer un palmier, la mesure de l'épaisseur de la coque doit se faire sur des fruits extérieurs bien développés, choisis sur un régime de début de série. Ceci est indispensable, car on a constaté des épaisseurs moyennes de coque variant de 4,5 mm pour les régimes de tête de série à 1,5 mm pour les régimes de fin de série.

La différence entre *fenera* et *dura* n'est donc pas toujours très nette, si l'on s'en tient à la seule mesure de la coque. Pour obtenir une détermination certaine, on s'aidera d'une autre particularité. À maturité, la zone de pulpe qui entoure immédiatement la noix du *fenera* est, comme chez les *pis(era)*, parsemée, d'un réseau de fibres lignifiées bien visibles à maturité. Ces fibres se réunissent à la partie inférieure de la noix et forment la "queue" caractéristique des fruits *fenera* (particulièrement visible chez les fruits extérieurs). Chez les *dura*, même pour les fruits intérieurs à coque mince (1 à 2 mm), la limite pulpe-coque est toujours très nette, la zone intermédiaire à fibres lignifiées n'existant pas.

D'autre part, chez les *dura*, l'endocarpe se prolonge en pointe jusqu'à la base du fruit ou presque; chez le *fenera*, il est entièrement localisé - pour les fruits extérieurs tout au moins - dans la moitié ou les deux tiers supérieurs de la drupe. Une coupe transversale au couteau, un demi centimètre au-dessus de la base d'un fruit extérieur mûr et normalement développé, montre que:

- _ chez *fenera*, la lame passe plus ou moins facilement et on observe au centre de la coupe un rond de fibres noires;
- _ chez *dura*, la lame est arrêtée par la pointe de l'endocarpe.

Pigmentation du fruit avant maturité

À cet égard, on distingue trois types, le type *nigrescens*, le type *virescens* et le type *albescens*.

1°) Type *nigrescens*

C'est le type le plus fréquent. Quelques jours après la fécondation, le sommet du jeune fruit commence à se colorer en violet foncé presque noir. Cette teinte résulte de la présence de deux pigments: la chlorophylle et l'anthocyane. À mesure de l'accroissement du fruit, la zone pigmentée s'étend de plus en plus vers le bas. Jusqu'au moment de la véraison, soit environ un mois avant la maturité, la partie inférieure du fruit reste généralement incolore. Entre cette zone et la partie violet foncé se dessine fréquemment une bande verdâtre qui s'efface généralement à maturité.

À l'époque de la véraison, alors que l'huile et ses pigments caroténoïdes se forment dans la pulpe, la coloration foncée de l'épicarpe disparaît, le fruit prend une teinte d'un rouge orange plus ou moins prononcé ; les fruits extérieurs gardent toutefois une calotte noirâtre.

Lorsqu'une inflorescence isolée au moment de l'anthèse est gardée en sac opaque jusqu'à la récolte, la chlorophylle ne peut se former par suite du manque de lumière; à part le dessous du fruit, le reste offre une couleur lie de vin

(anthocyane) ; à maturité, celle-ci reste uniquement présente dans la zone entourant les stigmates.

2°) Type *virescens*

Celui-ci, assez rare (0,5 à 1 pour la 000), se rencontre cependant dans tous les peuplements naturels africains. Il a également été observé dans les palmeraies subspontanées de l'Etat de Bahia. L'épicarpe ne renferme qu'un seul pigment, la chlorophylle; l'anthocyane est complètement absente.

Le tout jeune fruit se colore en vert, tout d'abord au sommet puis sur presque toute sa surface. Au moment de la véraison, la drupe prend une couleur rouge orange; néanmoins, le sommet des fruits extérieurs reste presque toujours verdâtre.

Chez un régime mis à l'abri de la lumière depuis l'ouverture des spathes, la chlorophylle ne pouvant se décolorer, les fruits restent entièrement blanchâtres et prennent une teinte jaune crème à l'époque de la maturité. Il n'y a donc aucune trace d'anthocyane.

Le *virescens* ne présente aucun intérêt spécial quant à la qualité de son huile.

3°) Type *albescens*

Alors que la majorité des *Elaeis* connus donnent une huile plus ou moins rougeâtre, due à la présence en quantité plus ou moins importante de carotène, certains palmiers produisent une huile qui en est presque complètement dépourvue, de coloration jaune or à ivoire, ce sont les *albescens*.

Avant maturité, la drupe est noire ou verte, de sorte qu'il existe des arbres à fruits *nigrescens* sans carotène à maturité (*albo-nigrescens*) et d'autres à drupes *virescens* pratiquement dépourvus de carotène au moment de la récolte (*albo-virescens*).

Les *albescens* sont très rares ; ils font défaut dans des zones entières. Au Congo, ils ont été observés au Mayumbe (Tshela). Dans cette région, les régimes des palmiers à fruits blancs ("sièla") sont réservés aux chefs et aux notables; leur nombre y est cependant très faible.

Le caractère *albescens* est héréditaire (récessif et très vraisemblablement monofactoriel). Étant donné la facilité de décoloration des huiles, celle des palmiers *albescens* ne semble plus présenter grand intérêt.

Les quatre caractères étudiés sont héréditaires et se transmettent indépendamment les uns des autres. Il existe donc autant de types d'*Elaeis* qu'il y a de

combinaisons possibles entre les diverses formes des caractères envisagés. La clef des 24 phénotypes possibles fait l'objet du **tableau .1.**

Vu la très faible fréquence de certaines combinaisons des quatre caractères servant de base à la classification ci-dessus, il n'est pas étonnant que, parmi les 24 phénotypes cités. Il en est qui n'ont jamais été signalés dans la nature. Ils peuvent néanmoins être obtenus par croisements artificiels. C'est ainsi qu'à Yangambi, au départ d'un *poissoni nigrescens dura* homozygote et d'un *virescens pisifera* lui aussi homozygote, il a été obtenu une descendance composée à 100 % de *poissoni virescens tenera* (150 individus).

Disposition des folioles sur le rachis

Chez la très grande majorité des *Elaeis*, les bases des folioles, parfaitement indépendantes les unes des autres, se contractent à leur niveau d'insertion en un bourrelet jaunâtre (type ordinaire).

En Afrique occidentale, on a signalé depuis longtemps l'existence d'arbres dont les folioles ne se séparent pas et forment des limbes entiers ou semi-entiers. Ce sont les *idolatraca* ("palmiers fétiches" ou "King palm"). Au Congo, de nombreux observateurs ont signalé la présence d'un autre type de feuille, confondu longtemps avec *l'idolatraca*. Contrairement à ce qui se passe chez ce dernier, les folioles sont indépendantes mais se distinguent du type ordinaire par le fait qu'elles ne se rétrécissent pas à leur base et que leur insertion sur le rachis de la palme s'effectue sur toute leur largeur. Alors que les folioles des feuilles adultes du palmier ordinaire se dirigent, plus ou moins alternativement vers le haut et vers le bas, on constate ici que, par suite de leur attache renforcée, toutes les folioles d'un même côté du rachis se situent pratiquement dans le même plan; la palme reste dressée, ce qui donne à la couronne de l'arbre un port élancé caractéristique. Il a été proposé de désigner ce type spécial sous le nom de *pseudo-idolatraca*.

Il est intéressant de noter que ces trois types de feuilles sont complètement indépendants des caractéristiques présentées par le fruit. Si l'on tient compte, à la fois, des types de fruits et des types de palmes, on aboutit à 72 (24 x 3) phénotypes possibles.

. 1.2. Système de reproduction

• Inflorescences et fleurs

Tout comme le cocotier, le palmier à huile est monoïque. Tandis que chez *Cocos nucifera*, les fleurs mâles et femelles se rencontrent sur une même inflorescence, chez *Elaeis guineensis* elles sont portées sur des régimes différents.

Tableau .1 - Clef des 24 phénotypes possibles de fruits *d'Elaeis gllineensis*. * Présence

de carpelles supplémentaires

- Présence d'anthocyane dans l'épicarpe	
· Présence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>poissoni nigrescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>poissoni nigrescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>poissoni nigrescens pisifera</i>
· Absence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>poissoni albo-nigrescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>poissoni albo-nigrescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>poissoni albo-nigrescens pisifera</i>
- Absence d'anthocyane dans l'épicarpe	
· Présence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>poissoni virescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>poissoni virescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>poissoni virescens pisifera</i>
· Absence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>poissoni albo-virescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>poissoni albo-virescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>poissoni albo-virescens pisifera</i>
* Absence de carpelles supplémentaires	
- Présence d'anthocyane dans l'épicarpe	
· Présence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>nigrescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>nigrescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>nigrescens pisifera</i>
· Absence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>albo-nigrescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>albo-nigrescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>albo-nigrescens pisifera</i>
- Absence d'anthocyane dans l'épicarpe	
· Présence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>virescens dura</i>
Coque mince, avec fibres	<i>virescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>virescens pisifera</i>
· Absence de carotène dans la pulpe	
Coque épaisse, pas de fibres	<i>albo-virescens dura</i>
Coque mince, pas de fibres	<i>albo-virescens tenera</i>
Pas de coque, mais fibres	<i>albo-virescens pisifera</i>

Le palmier à huile, espèce à floraison continue, possède un bourgeon inflorescentiel à l'aisselle de chaque feuille. Parfois, chez l'arbre adulte surtout, ce bourgeon peut avorter au cours de son développement. Les inflorescences formées se composent soit uniquement de fleurs mâles, soit de fleurs femelles, soit plus rarement de fleurs des deux sexes (inflorescences mixtes).

L'inflorescence de *Elaeis*, portée sur un pédoncule, est composée d'épis. Ceux-ci s'insèrent sur un rachis central, suivant un dispositif identique à celui des feuilles sur le stipe. Le tout est entouré de deux spathes (axe). Chacune d'elles correspond à la gaine d'une feuille dont le limbe n'est plus figuré que par la pointe de la spathe, généralement recourbée en forme de crosse.

Sur le rachis, chaque épi est sous-tendu par une bractée. En dessous du niveau d'insertion des épis les plus bas, le pédoncule porte un certain nombre de bractées, le plus souvent de six à dix. Parmi ces dernières, les deux inférieures, beaucoup plus longues, constituent les bractées sous-tendantes de l'ensemble des épis; les autres correspondent à des épis avortés, simplement représentés par un bourrelet.

Le nombre d'épis est indépendant du sexe des fleurs qui y sont insérées. Il s'accroît avec l'âge et, pour un âge donné, constitue une caractéristique individuelle.

Inflorescences mâles

Le pédoncule est beaucoup plus allongé que celui des régimes femelles et, au moment de l'anthèse, les épis sont d'habitude entièrement en dehors des spathes.

Les épis sont de forme cylindrique; l'axe, court et acuminé à son extrémité, porte, dans de petites alvéoles, les fleurs mâles sessiles, sous-tendues chacune par une bractéole terminée par une petite pointe. Les fleurs sont disposées sur l'épi suivant la même formule que les épis sur l'axe et les palmes sur le stipe. La longueur des épis augmente avec l'âge. Le nombre total de fleurs portées par chacun d'eux fluctue de 700 à 1 200.

De petite dimension, la fleur se compose, de l'extérieur vers l'intérieur, d'un périgone de six pièces (tépalés) disposées en deux verticilles, de six à onze étamines dont les filets sont soudés en tube à la base, et d'un gynécée tricarPELLAIRE rudimentaire (**Figure 7.3**). À noter qu'au moment de la maturité, la partie libre des filets s'allonge, ce qui permet le renversement des anthères.

La floraison est acropète : ce sont les épis de la base qui fleurissent d'abord et sur chacun d'eux, ce sont les fleurs inférieures qui s'ouvrent en premier lieu. Les anthères sont profondément bilobées et à déhiscence longitudinale. L'anthèse

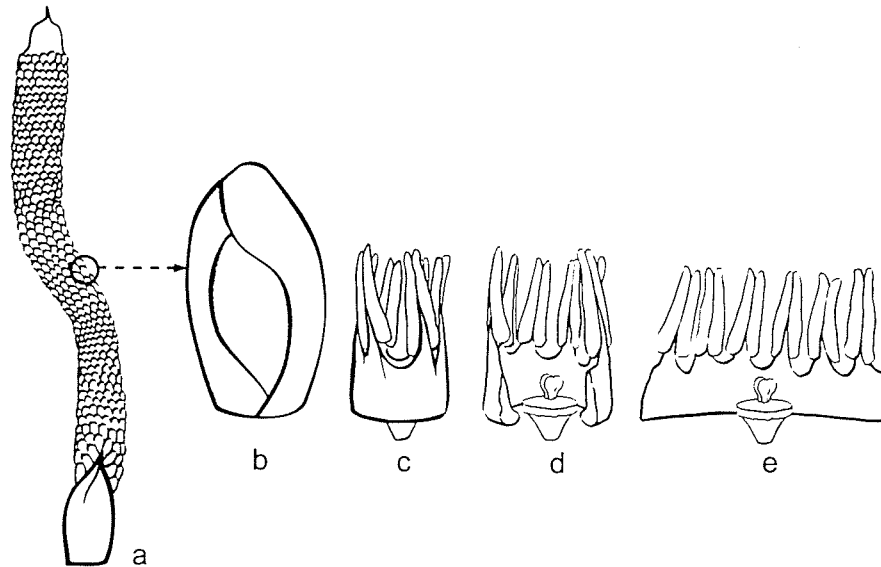


Figure .3 - Inflorescence mâle de *Elaeis guineensis*.

a : épi isolé portant de 700 à 1 200 fleurs - b : fleur mâle - c : androcée ou appareil reproducteur mâle d'une fleur débarrassée des autres pièces florales (périanthe) - d : coupe dans l'androcée laissant apparaître le gynécée atrophié. Les filets des étamines, soudés entre eux, forment une couronne qui entoure un gynécée atrophié - e : gynécée atrophié. L'androcée a été déployé pour faire apparaître le gynécée.

Le régime mâle est porté par un pédoncule plus mince et plus long que celui de l'inflorescence femelle. Les grains de pollen, de couleur jaune et de forme tétraédrique, mesurent environ 30 microns; à l'état frais, ils dégagent une odeur prononcée d'anis. Un régime mâle peut produire jusqu'à 50 g de pollen, voire davantage. En atmosphère sèche, le pollen peut conserver sa faculté germinative six mois et plus.

Inflorescences femelles

Le régime femelle est porté par un pédoncule plus épais mais plus court que celui de l'inflorescence mâle. L'axe des épis se termine en une épine brun foncé, rigide, plus ou moins pointue à son extrémité et de longueur variable suivant le type de palmier considéré (relativement courte et à bout quelque peu arrondi chez le palmier "Deli").

Les fleurs, enfoncées dans de petites cavités, sont sous-tendues par une bractée scariouse et terminée en une épine beaucoup plus longue que chez les fleurs staminées (Figure .4).

Le nombre moyen de fleurs femelles par épi s'accroît avec l'âge et varie d'un individu à l'autre; dans tous les cas, les épis centraux en comptent un nombre

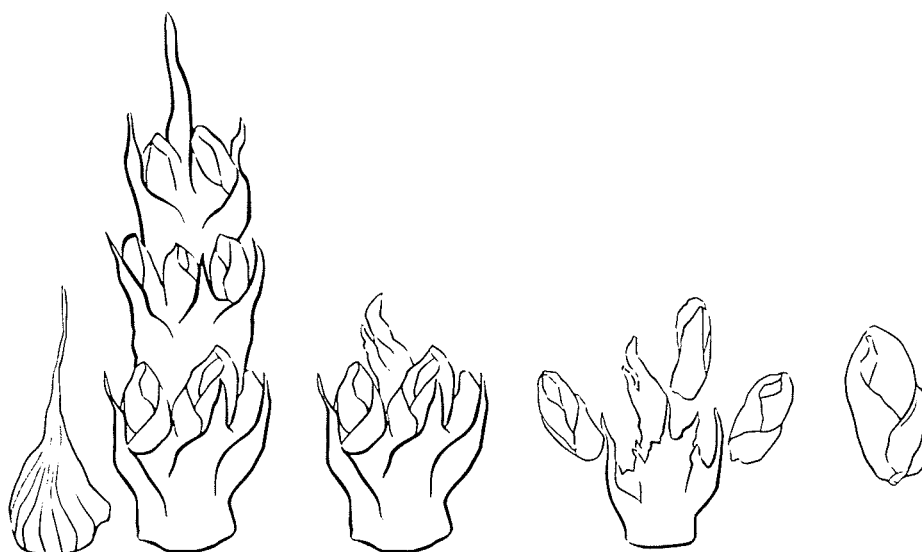


Figure .4 - Inflorescence femelle de *Elaeis guineensis*.

a: bractée spiciale sous-tendant l'épi - b: épi isolé de l'inflorescence femelle. Un épi porte jusqu'à 20 ou 30 fleurs femelles et se termine par une épine - c : partie basale d'un épi. Chaque fleur est sous-tendue par une bractée - d : base d'un épi dont on a détaché les fleurs - e : fleur femelle isolée.

beaucoup plus grand (jusqu'à 20 à 30) que ceux de la base ou du sommet (12 ou moins). Les inflorescences de certains arbres adultes peuvent porter plus de 3 000 fleurs femelles.

Chaque fleur femelle sessile est flanquée latéralement de deux fleurs mâles accompagnatrices, minuscules et pédicellées, qui d'habitude avortent avant l'anthèse de la fleur pistillée². C'est donc un groupe tri floral qui se trouve à l'aisselle de chaque bractée (BECCARI, 1914).

La fleur femelle comporte un ovaire triloculaire à trois loges, surmonté d'un stigmate sessile à trois lobes; chaque loge renferme un ovule orthotrope. L'ovaire est entouré à sa base d'un androcée rudimentaire réduit à un anneau surmonté de six à onze petites proliférations pointues (vestiges de filets staminodiaux), dénommé couronne staminodiale. Le tout est entouré d'un périante de six tépales, lui-même renfermé entre deux bractéoles (Figure .5).

² Jadis, il a été observé à Yangambi quelques très rares palmiers dont les fleurs femelles et les fleurs mâles accompagnatrices s'ouvraient simultanément. Dans une telle éventualité, l'autopollinisation naturelle serait possible.

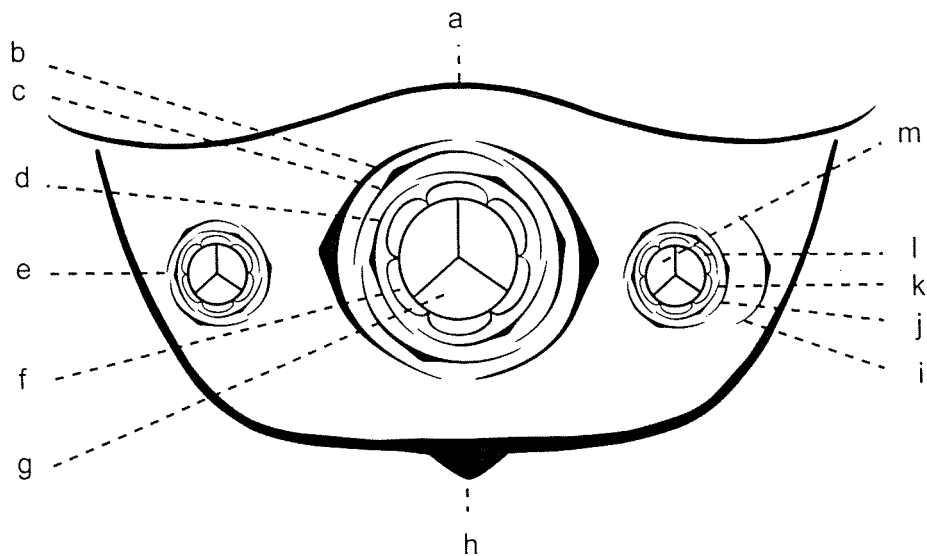


Figure .5 - Diagramme du groupe trifloral.

a : alvéole du rachis de l'épi - b : bractéoles de la fleur femelle - c : tépales extérieurs d : tépales intérieurs - e : fleurs mâles accompagnatrices - f : androcée rudimentaire g : ovaire tricarpellaire - h : bractée florale spinescente - i : bractéole de la fleur accompagnatrice - j : tépales extérieurs de la fleur accompagnatrice - k : tépales intérieurs de la fleur accompagnatrice - l : étamines nominales - m : ovaire rudimentaire.

Chacune des fleurs mâles accompagnatrices est constituée comme une fleur mâle normale; l'une d'entre elles, celle située le plus vers l'extérieur du spadice, est protégée par une bractéole. Occasionnellement, deux fleurs femelles peuvent se former, au lieu d'une, entre les deux bractéoles (groupe quadrifloral).

Sur les extrémités des épines terminales de certains épis, fortement allongées par rapport aux autres, on observe parfois la présence d'une ou deux fleurs femelles, nettement extérieures à l'ensemble du régime. Elles se développent en fruits normalement constitués ; autrefois, ces derniers étaient désignés par certains planteurs du Congo sous le vocable "fruit en baïonnette".

Inflorescences mixtes

Les inflorescences mixtes ou hermaphrodites se rencontrent chez certains palmiers. Lorsqu'on passe d'une série mâle à une série femelle, les épis de la base (les premiers différenciés) sont mâles et les autres femelles. Dans l'éventualité contraire, les épis pistillés sont en dessous et les staminés au-dessus. À la jonction des zones mâle et femelle, il n'est pas rare de trouver des épis mixtes et sur ceux-ci, au niveau de transition des sexes, des fleurs typiquement hermaphrodites, à gynécée et androcée parfaitement fonctionnels.

Parfois aussi, au niveau des transitions de sexes, on observe des inflorescences d'apparence femelle mais qui, au lieu de porter des fleurs pistillées, se composent de fleurs mâles. La fleur femelle a avorté; son emplacement est occupé par les deux fleurs mâles accompagnatrices qui se sont développées normalement.

Inflorescences andromorphes

Il s'agit d'inflorescences qui, lors de l'ouverture des spathes, ressemblent à s'y méprendre à des inflorescences mâles. Cependant, elles ne comportent que des fleurs femelles "groupées à la manière de fleurs mâles et enveloppées comme celles-ci". Ces fleurs, de petites dimensions, sont le plus souvent apocarpes et avortent très tôt. Ce type d'inflorescences, dénommées "andromorphes" par BEIRNAERT, est relativement rare et n'apparaît le plus souvent que dans le jeune âge.

Remarque : à partir de tous les primordiums floraux, on observe des organes mâles et femelles mais, de façon générale, les uns ou les autres restent rudimentaires ; la monoécie du palmier est donc de nature secondaire. Les sexes sont séparés dans le temps et dans l'espace; par conséquent, l'allogamie est de règle.

Ratio sexuel

Le ratio sexuel s'exprime par le rapport du nombre d'inflorescences femelles à celui des inflorescences mâles, ou par le rapport du nombre d'inflorescences femelles au nombre total d'inflorescences. Il présente de très fortes variations suivant l'âge, la variété ou l'origine du matériel considéré. On observe des différences sensibles d'une lignée à l'autre et entre palmiers d'une même descendance.

En Afrique, le ratio sexuel se montre le plus élevé pour les *Elaeis* originaires de la Côte d'Ivoire (La Mé). Il est quelque peu inférieur pour l'origine "Yangambi" et nettement moindre pour les introductions "Deli".

Dans une descendance déterminée, ce sont les *pisifera* qui offrent le rapport le plus élevé; viennent ensuite les *tenera* et finalement les *dura*. À ce sujet, il a été observé, à Yangambi, sur de très jeunes descendance *"tenera x tenera"*, les valeurs ci-après:

	Q/à	Q/à+Q
<i>pisifera</i>	3 à 2	75,0 à 50,0 %
<i>tenera</i>	2,5 à 1,5	71,4 à 60,0 %
<i>dura</i>	1,9 à 1,2	65,5 à 54,5 %

Le ratio sexuel varie au cours des saisons; c'est une conséquence des modifications du métabolisme (rapport carbone/azote) dues en ordre principal aux fluctuations climatiques (pluviosité et lumière).

À noter que, lors de l'entrée en production, un trop petit nombre d'inflorescences mâles peut parfois entraîner une fécondation insuffisante résultant de la trop faible quantité de pollen disponible. Dans une telle éventualité, la pollinisation artificielle s'impose parfois.

.1.3. Histoire de l'amélioration du palmier à huile

Les premiers travaux de sélection du palmier à huile ont été entrepris aux Indes néerlandaises, au début du XXe siècle. Les Belges au Congo, les Français en Côte d'Ivoire surtout, puis les Anglais en Malaisie et au Nigeria ne tardèrent pas à suivre l'exemple des Hollandais. Tandis qu'en Extrême-Orient la sélection se pratiquait au départ du type *dura*, en Afrique on faisait généralement appel au type *tenera*.

Ci-dessous est brièvement résumée l'histoire de l'amélioration dans les pays précités.

- Extrême-Orient

Indes néerlandaises

En 1848, quatre plants de palmier à huile ont été introduits à Java, au Jardin botanique de Buitenzorg (actuellement Bogor). Leur origine est quelque peu mystérieuse ; deux proviendraient soit de l'île de la Réunion (île Bourbon), soit de l'île Maurice (île de France) ; les deux autres auraient été expédiés par le Jardin botanique d'Amsterdam. *Elaeis guineensis* ne se rencontre, à l'état spontané ou subsponané, dans aucune des deux îles précitées; il y aurait été introduit d'un endroit inconnu de l'Afrique occidentale, vers 1822. Il est permis de supposer que les plants de Maurice ou de la Réunion et ceux d'Amsterdam étaient issus de la même source via une de ces îles.

Les caractéristiques de ce matériel de départ sont mal connues. Les quatre palmiers sont considérés comme assez semblables quant à leur phénotype, mais deux seuls restent en vie et aucune donnée n'a été publiée concernant la composition de leurs régimes et de leurs fruits.

Durant 60 ans environ, les premiers arbres introduits servent uniquement à la production de plantes ornementales. En 1911, le Belge Adrien HALLET (ingénieur agronome de Gembloux) installe la première palmeraie industrielle sur la côte est de Sumatra. En trois ans, il établit quelque 2 900 ha au départ de semences récoltées sur les *Elaeis* J'une avenue de Deli ; ceux-ci sont reconnus non seulement comme plus productifs que ceux d'Afrique mais aussi comme donnant des fruits plus riches en huile.

Les extensions, freinées par la première guerre mondiale, reprennent par après et atteignent environ 35 000 ha en 1925. Elles ne cessent de croître par la suite; à la veille de la seconde guerre mondiale, elles s'élèvent à près de 122 000 ha.

Les premiers travaux d'amélioration de la production en huile débutent en 1923. Ils sont entrepris d'une part par l'AYROS et, d'autre part par les grandes compagnies de plantations.

La fécondation artificielle pratiquée entre individus choisis pour leur haute production donne naissance à une première génération plantée entre 1927 et 1933 ; elle est suivie de plusieurs autres. Ce travail réalisé uniquement sur du matériel *dura* aboutit, par consanguinité et épuration, à la fixation d'une race géographique, le *dura* "Oeli".

Le "Oeli" possède un type morphologique bien défini, fixé et parfaitement acclimaté aux conditions d'Extrême-Orient. L'arbre a un stipe trapu et une couronne décombante ; la feuille, au pétiole très large et épais à la base, présente une arcure aux deux tiers de sa longueur à partir du tronc. Le régime, peu épineux, porte de gros fruits dont la composition moyenne est approximativement la suivante: 60 à 65 % de pulpe, 30 % de coque et 10 % d'amande. Le "Deli" est donc un très bon *dura*. Son intérêt réside dans sa haute productivité en régimes et la haute teneur en huile de ceux-ci (jusqu'à 20 % d'huile sur régime contre 14 % pour les meilleurs *dura* africains spontanés).

À Sumatra, la sélection de "Oeli" a abouti à des résultats très spectaculaires, favorisés, il est vrai, par les excellentes conditions climatiques et édaphiques de la côte est. En 1940, sur des dizaines de milliers d'hectares, on obtenait 3 t/ha d'huile; certains champs généalogiques produisaient de 4,5 à 5 t/ha. Il y a lieu de mentionner qu'à plusieurs reprises, du matériel africain a été introduit à Sumatra. En général, les semences importées provenaient d'arbres n'ayant donné lieu à aucun choix sérieux, aussi leurs descendance ne furent-elles pas retenues. Toutefois, une de ces introductions eut beaucoup plus de succès; il s'agit de celle réalisée par l'AYROS en 1921-1922 et qui consistait en graines récoltées sur le fameux "Ojongo" du Jardin botanique d'Eala (Congo), palmier *tenera* dont on reparlera.

Les semences de fécondations libres d'Eala furent plantées au Jardin de sélection de Sungei Pantjur. Parmi les fils des Djongo, un *tenera* bien connu, le SP540 dont le taux d'huile sur régime voisinait 24 % (moyenne de sept analyses), fut autofécondé. Les 123 palmiers ainsi obtenus furent plantés à Polonia en 1931. Sept d'entre eux furent choisis pour leur haute richesse en huile.

Il est intéressant de noter que la ségrégation en *tenera*, *dura* et *pisifera*, à laquelle l'autofécondation aurait dû donner lieu, n'a pas frappé les spécialistes de l'époque. Il est difficile d'admettre qu'il y ait eu un manque d'observations; il est

plus vraisemblable de croire en l'illégitimité de la fécondation. On peut aujourd'hui se demander si les spécialistes de l'époque se trouvaient bien devant une descendance de "SP540 x SP540" (*tenera* x *!enera*) ou, tout simplement, devant une descendance "SP540 x Deli" (*tenera* x *dura*).

Malaisie

L'Elaeis, en provenance d'Indonésie, est introduit en 1875 au Jardin botanique de Singapour; néanmoins, l'établissement de grandes palmeraies ne débute qu'un demi-siècle plus tard. Ces dernières sont créées au départ de graines d'origine locale ou de graines importées de Sumatra, dans les deux cas de matériel Deli.

La sélection ne débute qu'en 1930. Les premières observations sont effectuées à la Station expérimentale centrale de Serdang ("Central Experiment Station of Serdang"). Par la suite, les grandes sociétés commencent, elles aussi, leur propre sélection; comme à Sumatra, tous ces organismes ne travaillent pratiquement que le *dura* "Deli".

L'intérêt du *!enera* n'apparaîtra réellement que vers 1950.

Signalons qu'en 1952, JAGOE décrit deux palmiers, apparus dans les descendance Deli, caractérisés par la grosseur et la faible élévation de leur stipe (4 m de hauteur à 15 ans) ; ils sont connus sous le nom de *dumpy palms* ou palmiers nains. Un seul de ces arbres, le E206, a été retenu. Son autofécondation s'est révélée très uniforme du point de vue végétatif, les caractères du tronc (diamètre et allongement) s'étant transmis à un degré remarquable (moyenne de 3,5 m à 12 ans).

Bien qu'affectés d'une hétérogénéité assez forte en ce qui concerne les qualités du régime, ces palmiers trapus constituent un matériel très intéressant pour l'amélioration du caractère "hauteur du stipe". De nombreux rétrocroisements ont d'ailleurs été effectués en vue de parfaire les caractéristiques des fruits.

• Afrique

Congo

Dès 1911, plusieurs sociétés exploitent les palmeraies spontanées congolaises. Plusieurs agronomes étudient les caractéristiques de ces importants peuplements. En 1922, à Yangambi (Régie des Plantations), RINGOET établit la première parcelle expérimentale d'*Elaeis*. En 1924, il plante un second champ de 40 ha. Les semences pour l'établissement de ces deux palmeraies provenaient d'arbres fécondés naturellement et avaient été récoltées sur des *!enera* de quatre endroits différents, à savoir:

-le Djongo, arbre de la collection *d'Elaeis* établi au Jardin botanique d'Eala, originaire du centre de la Cuvette congolaise, il était connu pour ses fruits particulièrement riches en huile;

- _ des palmiers de Yawenda (sud de Yangambi, rive gauche du fleuve) ; _ des arbres d'Isangi (sud-ouest de Yangambi, confluent du Lomami) ;
- _ des *feners* de la Station de N'Gazi (nord de Yangambi), eux-mêmes originaires de la vallée de l'Aruwimi et qui avaient tait l'objet de certaines observations vers 1916-1917.

Dès l'entrée en production, ce matériel est éclairci; tous les malvenus et les types à coque épaisse sont abattus. Par la suite, la mise sous contrôle individuel de la production permet de faire disparaître les individus les moins productifs. Parmi les arbres maintenus, les observations du rendement en régimes et de la richesse en huile ne sont poursuivies que sur les *feners* porteurs de fruits à mésocarpe épais. Les analyses comportent entre autres:

- _ la détermination des pourcentages pulpe, coque et amande sur fruit; - le comptage des épis;
- _ le dénombrement des fruits extérieurs, parthénocarpiques et avortés dont la somme correspond au nombre total de fleurs;
- _ le calcul du nombre de fleurs par épi et du taux de fécondation (nombre de fruits extérieurs) $\times 100$;

$$\frac{\text{nombre total de fleurs}}{\text{nombre total de fleurs}}$$
- la pesée des fruits normaux (extérieurs + intérieurs) et le calcul du poids moyen du fruit normal.

Les premiers résultats de ces observations conduisent assez rapidement au choix d'un certain nombre de palmiers, dénommés par BEIRNAERT "candidats arbres-mères" (C.A.M.). Trois nouvelles années de contrôle vont permettre, parmi ceux-ci, le choix d'individus d'élite, arbres-mères provisoires, basé en principe sur les critères suivants:

- _ production moyenne en régimes (durant trois années au moins) de 140 kg par année;
- taux en pulpe sur fruit d'au moins 75 % ;
- _ poids moyen des fruits extérieurs de 12 g ou plus ; _ poids moyen de l'amande de 1 g ou plus;
- _ rendement théorique en huile de palme de 33 kg/an; - croissance et vigueur normales.

Aucun palmier ne répond, loin s'en faut, à tous ces critères, aussi ceux-ci ne sont-ils pas appliqués de façon rigide. Tous les arbres retenus présentent toujours des valeurs élevées pour l'un ou l'autre des caractères requis. BEIRNAERT préconise donc le croisement entre géniteurs à caractères complémentaires et réserve l'autoféconda-

tion pour les arbres qui montrent une belle performance à tous points de vue. Une grande importance était attribuée au poids moyen du fruit, ce qui est discutable.

Le fruit de type "Yangambi" (fruit gros et allongé, haute teneur en mésocarpe, coque mince et amande relativement petite), vers lequel tendait BEIRNAERT, ne se rencontrait que parmi les descendances du "Djongo". Après guerre, plus aucune importance ne fut attachée au critère "poids du fruit".

C'est en 1939 que VANDERWEYEN émet pour la première fois l'hypothèse que tout *dura* croisé par tout *pisifera* donne 100 % de *tenera*,

La mise au point du croisement *dura* x *pisifera* devait marquer un tournant important de l'amélioration du palmier à huile. Au sujet de cette découverte, il nous plaît de rappeler ce qu'écrivit HARTLEY : "*The Success of the huge Congo programme is undoubtedly due to the very high standard of skill and discipline of the special workers, recruited from outside the Congo, who undertook the pollinations, germination and planting*".

Côte d'Ivoire et Bénin

Dès 1922, les Français commencent la prospection des palmeraies de la région de Bingerville en Basse Côte d'Ivoire et des environs de Porto-Novo au Bénin (sélection primaire). Les descendances de quelques dizaines d'arbres choisis sont plantées, entre 1924 et 1930, aux Stations de La Mé et de Pobé. Les individus retenus se caractérisent malheureusement par des fruits à coque assez épaisse et par un taux de pulpe peu élevé.

Les arbres choisis furent théoriquement autofécondés ; eu égard à la méthode de pollinisation suivie, les descendances devaient, sans aucun doute, être entachées d'illégitimité. Dans son ensemble, la G₁ s'est révélée peu productive. Néanmoins, après la guerre, l'IRHO (Institut de Recherche des Huiles et Oléagineux de Côte d'Ivoire) a utilisé, avec succès, certains de ces palmiers lors des croisements réalisés notamment avec du matériel Deli.

Nigeria

Les premiers travaux de sélection furent entrepris au sein d'une petite palmeraie de Calabar. Celle-ci se composait de quelque 800 arbres de divers types: *dura*, *tenera*, *virescens*, *poissoni*, mis en place pour la plupart entre 1912 et 1916.

Au cours d'un premier choix, 449 palmiers furent repérés et mis sous observation. Finalement, 22 d'entre eux furent définitivement retenus. Parmi les arbres-mères de Calabar, il faut mentionner le *dura* CA256 et 551, utilisé dans beaucoup de croisements et dont l'autofécondation donne une bonne production.

Une autre sélection de *renera* et de *dura* fut entreprise, avant guerre, dans les palmeraies naturelles de la région d'Aba. De nombreux croisements furent exécutés mais les pollinisations ne furent pas un succès. Les arbres qui en sont issus, au nombre de plusieurs milliers et pour une grande partie d'origine illégitime, furent plantés à la Station de recherches du palmier à huile du Bénin (ail Palm Research Station) entre 1939 et 1941. Toutefois dans la suite, ils ont constitué un matériel très intéressant pour les travaux de sélection. Les observations auxquelles ils ont donné lieu ultérieurement, ont montré que le rendement des *tenera* n'est en rien inférieur à celui des *dura*.

IA. Critères de sélection

Les critères principaux auxquels doit répondre le palmier idéal sont les suivants:

- grande production en huile de palme et en amandes,
- faible hauteur du stipe,
- rusticité, résistance aux maladies, adaptabilité au milieu.

À côté de ces trois critères principaux, il en est d'autres, notamment le faible encombrement foliaire, les qualités technologiques et la composition de l'huile, la facilité d'égrappage.

- Grande production en huile de palme et en amande

On cherchera toujours à réduire la proportion de coques à son minimum et c'est uniquement parmi les arbres qui répondent à ce critère que se fera le choix de ceux qui présentent la teneur la plus élevée en pulpe, en amande ou en pulpe plus amande. La production en huile est la résultante combinée de deux facteurs principaux: le poids total des régimes produits et la richesse en huile des régimes.

Poids total des régimes produits

Ce poids total dépend du poids moyen des infrutescences et de leur nombre.

Certains arbres doivent leur rendement élevé à un nombre limité de régimes pesants, d'autres à de nombreux petits régimes. La combinaison entre ces deux caractères permet d'obtenir un matériel très bon producteur à régimes relativement lourds et assez nombreux.

Rappelons qu'un grand nombre de petits régimes par arbre est un caractère peu intéressant d'un point de vue économique, car il demande, pour un rendement individuel donné, un plus grand nombre d'interventions du coupeur. D'autre part, le fait de devoir couper, lors de la récolte, la feuille sous-tendante entraîne

l'élimination prématurée d'un grand nombre de palmes, endommage la couronne et finalement, porte préjudice à la vigueur de l'arbre.

Richesse ell huile des régimes

Trois facteurs interviennent ici. Ce sont les pourcentages en pulpe et amande des fruits, la proportion des fruits normaux dans le régime et la teneur en huile sur pulpe. Les deux premiers donnent la richesse en pulpe et en amande de l'infrutescence.

1°) Pourcentage de pulpe et d'amande sur fruit

La teneur en pulpe atteint sa valeur maxima chez les arbres des formes *pisifera* et *tenera*. Pour les *pistifera* fertiles, on peut enregistrer des pourcentages de mésocarpe de l'ordre de 90 à 95 %, voire plus. Chez les formes à coque très mince, la teneur du fruit en pulpe peut dépasser 90 %. Mais comme on le sait, les *pisifera* avortent le plus souvent leurs régimes, spécialement dans le jeune âge. C'est la raison pour laquelle les efforts doivent d'abord converger vers le type *lenera* à coque mince.

Un autre moyen d'augmenter la richesse en pulpe du fruit serait de faire appel à des arbres du type *poissoni*. Malheureusement, ils offrent, en général, un pourcentage de fruits sur régime relativement faible.

Il existe encore un autre facteur d'amélioration du taux de pulpe sur fruits, c'est la proportion de fruits parthénocarpiques dans l'infrutescence. Ils sont quasi uniquement composés de mésocarpe, la noix étant nulle ou réduite à un petit amas de coque. La présence de fruits parthénocarpiques a parfois comme conséquence une augmentation sensible de la teneur moyenne en huile du mésocarpe et du régime. Ils ne peuvent donc pas être négligés lors de l'analyse des infrutescences. Les *tenera* présentent, en moyenne, une amande légèrement moins grosse que les *dura* mais, en revanche, ont un pourcentage d'amande sur fruit un tant soit peu supérieur. Exprimée en fonction du poids du régime, la proportion de palmistes des types à coque mince ne diffère guère de celle des formes à endocarpe épais.

Il en résulte que la plantation de *lenera* ne compromet en rien le rendement des palmistes. Celui-ci dépend uniquement de l'origine des géniteurs utilisés lors de la production de graines.

2°) Pourcentage de fruits normaux sur régime

L'endocarpe constituant l'élément le plus dense du fruit, il est normal que, dans une population de palmiers non sélectionnés, on constate une corrélation

positive entre l'épaisseur de la coque et le taux pondéral de fruits normaux du régime.

Pour la même raison, dans des descendance *tenera x tenera* ou *tenera x dura*, cette même caractéristique est toujours plus élevée pour les arbres à coque épaisse que pour les palmiers frères à endocarpe mince.

Deux valeurs moyennes sont enregistrées à Yangambi (Congo), *dura* : 70,8 % et *tencra* : 66,6 %, soit une différence de 4,2 %. Ces chiffres semblent donner un avantage sensible aux formes à coque épaisse, mais ces dernières ne compensent pas les différences entre les taux en pulpe sur drupe des deux types de palmiers.

Il faut d'ailleurs signaler l'existence de *tencra* à endocarpe très mince, qui combinent à la fois une richesse élevée en mésocarpe + amande et un haut pourcentage de fruits sur régime .

3°) Pourcentage d'huile sur pulpe

La détermination de cette caractéristique a été négligée pendant longtemps.

On se contentait, en effet, d'admettre que la richesse en huile de la pulpe était de 50 %. On sait actuellement qu'il existe certains arbres dont le taux en huile sur pulpe s'élève à 55 % et plus. Cela montre toute l'importance de ce caractère lors du choix des arbres-mères. S'il est impossible de trouver des palmiers qui présentent des valeurs très élevées pour chacun des facteurs composants du rendement en huile et en amande, ce sera le travail de l'améliorateur de tenter de combiner au mieux les caractéristiques les plus favorables de chaque génotype utilisé.

• Faible hauteur du stipe

La vitesse d'allongement du stipe est un facteur très important. C'est de lui que dépend la durée d'exploitabilité d'un palmier, Tant que la hauteur du tronc ne dépasse pas neuf à dix mètres, les chicots foliaires permettent son escalade ou, mieux, la récolte peut s'effectuer & l'aide d'un couteau malais. Passé ce stade, la cueillette pose des problèmes. Si la croissance en hauteur du stipe dépend avant tout du milieu, sa vitesse d'allongement est également fonction de son origine génétique.

En Malaisie, on a isolé dans du matériel Deli deux palmiers particulièrement trapus ("dumpy palm"). L'un d'eux, le E206 avait un tronc spécialement court et épais; il fut retenu pour la sélection. Des études ont établi la parfaite hérédité du caractère "stipe trapu", et le haut degré de son homozygotie chez le E206. C'est une source de matériel à ne pas négliger.

L'hybridation entre *E. guineensis* et *E. oleifera* offre une autre possibilité pour ralentir la croissance du tronc. Cette hybridation est féconde et des espoirs sont permis quant à l'intérêt de l'*E/aeis* américain pour l'amélioration du caractère "hauteur du stipe" ; son étude mérite d'être poursuivie .

- Résistance aux maladies

Les arbres-mères choisis doivent être vigoureux, indemnes de toute maladie (*Flisarium oxysporum*, *Ceratocystis paradoxa*, *Ganoderma* sp., *Armillaria mellea*, *Marasmius palmivorus*, etc.) et parfaitement adaptés au milieu.

Mais l'appréciation de ces facteurs est parfois difficile. Il ne suffit pas de faire appel à des individus apparemment sains et robustes, il faut s'assurer également que leur génome est exempt de tares. Le seul moyen pour s'en assurer est d'étudier leur descendance et plus spécialement celle obtenue après autofécondation.

1.5. Variabilité des principaux facteurs de rendement

- Facteurs de la production en régimes

Quel que soit le milieu considéré, la variabilité de la production individuelle par année est toujours très élevée (40 à 70 %). Les coefficients diminuent sensiblement dès qu'on envisage les rendements cumulés de périodes de deux ou plusieurs années.

La variabilité du nombre de régimes produits annuellement est du même ordre de grandeur que celle de la production. Elle fluctue, elle aussi, entre 50 et 70 %.

La variabilité du poids moyen des infrutescences récoltées semble nettement inférieure à celle de la production et du nombre de régimes.

- Facteurs de la richesse en huile du régime

Quatre facteurs contribuent à la teneur en huile de l'infrutescence: le pourcentage pulpe sur fruit, le pourcentage amande sur fruit, le pourcentage fruit sur régime, le pourcentage huile sur pulpe.

Ces facteurs de la richesse en huile du régime ne présentent pas une aussi grande variabilité que ceux de la production en régimes. Néanmoins, ils font preuve d'une fluctuation suffisamment grande que pour présenter un très grand intérêt pour le sélectionneur.

.1.6. Héritabilité des caractères

• Héritabilité des caractères "type de fruit" *Présence 011*

absence de carpelles supplémentaires

La dominance et la nature monogénique du caractère "carpelles supplémentaires" ont été démontrées. Si on représente le caractère "présence de carpelles" par C et celui de leur absence par c, les *poissoni* pourraient répondre à deux génotypes CC (homozygote) et Cc (hétérozygote). Quant aux palmiers aux fruits ordinaires, ils répondraient à la fréquence génomique cc.

Présence 011 absence de coque

Aujourd'hui, on peut admettre que les formes *tenera* sont des monohybrides dont la descendance se compose de 25 % de *pisifera*, 50 % de *tenera* et 25 % de *dura*. Aussi, actuellement, toutes les plantations d'*Elaeis* du monde recourent uniquement au croisement *dura* x *pisifera* pour la production de semences *tenera*.

Mais à côté du facteur "présence" ou "absence" de coque, il existe des facteurs additifs qui en déterminent l'épaisseur. Au Nigeria, des observations permettraient d'admettre que les *pisifera* fertiles ne se rencontreraient que dans les descendance de *tenera* à coques relativement épaisses.

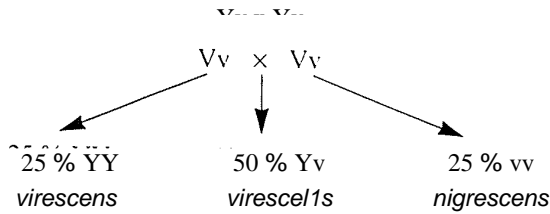
Présence 011 absence d'anthocyane

Le caractère *virescens* s'est révélé dominant, bien qu'il soit dû à une absence d'anthocyane et que sa fréquence dans la nature soit très faible. Si on représente le caractère *virescens* par V et le caractère *nigrescens* par v, on peut symboliser les trois génotypes possibles comme suit:

- YY *virescens* homozygote,
- Vv *virescens* hétérozygote,
- vv *nigrescens* (toujours homozygote).

La majorité des *virescens* rencontrés dans la nature sont hétérozygotes (Vv) et donnent en croisement avec des *nigrescens* (vv) : 50 % de *virescens* (Vv) et 50 % de *nigrescens* (vv).

Seule l'autofécondation de ces *virescens* Vv permet d'obtenir des homozygotes :



• Héritabilité des composants **du régime**

De l'examen de la variabilité des différents composants du régime (taux de pulpe, de coque et d'amande sur fruit, pourcentage de fruits sur régime, ...) et du rendement (production, nombre et poids moyen des régimes), il ressort que tous présentent une variation continue, ce qui signifie qu'on est en présence de caractères quantitatifs. La variabilité résulte donc à la fois des différences dans les facteurs génétiques qui les contrôlent et des fluctuations dans les conditions de milieu.

Rappelons que si la variabilité due au milieu est importante, la sélection pour des différences héritables sera difficile. Au contraire, si elle est faible, la sélection sera efficace et le caractère observé se transmettra facilement dans sa descendance.

L'héritabilité des caractères est donc intéressante à connaître. Elle pourra être mesurée par la régression des valeurs des descendance sur les valeurs des parents.

Taux de fruits sur régime

L'héritabilité du pourcentage de fruits est faible. Des coefficients de l'ordre de 19 à 34 % ont été observés. Aucune corrélation parent/enfant significative ne semble avoir été trouvée et l'héritabilité est très faible avec une marge d'erreur importante.

Pourcentage de mésocarpe sur fruit

Les résultats obtenus aussi bien au Nigeria qu'en Côte d'Ivoire confirment la faible incidence de l'environnement sur le pourcentage de pulpe.

Épaisseur de l'endocarpe et taux de coque sur fruit

Depuis 1939, on connaît la parfaite transmission de l'épaisseur de la coque. L'héritabilité de ce caractère se montre toujours très élevée.

Pourcentage d'amande sur fruit

L'héritabilité de la teneur du fruit en amande est également très élevée.

7 Poids moyen du fruit

Ce caractère hautement héritable est probablement celui qui se transmet le mieux. Pour certains auteurs, les estimations sont proches de 100 %.

Teneur en huile du mésocarpe

C'est un caractère très important, mais difficile à mesurer. Il dépend, entre autres, du degré de maturité du régime, de l'âge de plantation, de la saison au cours de laquelle on effectue la récolte, de l'origine du matériel végétal. Certaines constatations permettent cependant de suggérer que les facteurs de la richesse en huile sur pulpe sont hautement hértables.

En résumé, il apparaît que les caractères composants principaux du régime peuvent se classer en deux catégories:

- les caractères très hértables
 - *le pourcentage de pulpe sur fruit, *le pourcentage de coque sur fruit, *le pourcentage d'amande sur fruit, *le poids moyen du fruit, *le taux d'huile sur pulpe (très vraisemblablement)
- les caractères peu hértables
 - *le pourcentage de fruits sur régime.

• Héritabilité de la production en régimes

Les coefficients d'héritabilité qui concernent la production totale en régimes et ses deux composants, le nombre et le poids moyens des infrutescences ne sont pas très élevés. On ne peut cependant nier la transmission au moins partielle de ces caractères. Cette héritabilité est souvent masquée par des facteurs divers tels que la consanguinité, par l'observation incorrecte des parents et des enfants, par les différences d'âge, par le milieu, etc.

L'améliorateur devra cependant toujours faire appel aux meilleurs producteurs et tenir compte de l'aptitude à la combinaison de ses géniteurs. Les croisements entre palmiers d'origines différentes donnent généralement des descendance plus productives que ceux réalisés entre parents de même origine. L'écart sera d'autant plus marqué que les deux origines utilisées possèdent des caractères "régime" complémentaires.

• Héritabilité des caractères végétatifs

Il s'agit principalement des caractères de la feuille et du stipe.

8 Caractères de la feuille

On distingue trois types d'insertion des folioles: ordinaire, *ido!atrica* et *pselldo-ido!atrica*. Quelques observations permettraient d'admettre la dominance du caractère *ido!atrica* et la récessivité du caractère *pselldo-ido!atrica* par rapport au type ordinaire.

La transmission héréditaire des dimensions du limbe et du nombre de feuilles (surface foliaire) ne semble pas avoir été mise en évidence. Elle est la résultante de trois facteurs indépendants, à savoir: le nombre de folioles, la longueur et la largeur de celles-ci. Toutefois, si on examine en particulier chacun de ces trois caractères, on constate que les caractéristiques des géniteurs se retrouvent dans la descendance. Il existerait une certaine héritabilité des caractères envisagés.

Caractères du stipe

La hauteur du stipe est un caractère dont l'intérêt économique devient de plus en plus important. Suivant la rapidité de la croissance des arbres, la récolte des régimes pourra s'effectuer du sol pendant plus ou moins longtemps et la durée d'exploitabilité d'une palmeraie sera plus ou moins longue. Cette vitesse de croissance en hauteur du tronc est héréditaire.

Certains palmiers (le 16/R de Yangambi par exemple) ont donné une descendance d'autofécondation (FI) à stipes régulièrement courts et trapus. Cette caractéristique se retrouve également dans les descendance de croisements.

En Malaisie, parmi les palmiers Deli, le "dumpy palm" (E206) présente un stipe nettement moins haut que le Deli ordinaire. Après autofécondation, le R206 ne donne que des individus trapus. En hybridation, la descendance montre un faible accroissement en hauteur et un grand diamètre de tronc.

Des palmiers originaires de Pobé au Bénin se caractérisent également par un stipe à faible vitesse de croissance.

Rappelons aussi que *Elaeis o!eifera* est appelé à jouer un rôle important à cause de sa faible rapidité de croissance en hauteur du stipe.

.1. 7. Consanguinité

Chez le palmier à huile, comme chez toutes les plantes allogames, une trop grande parenté entre les géniteurs entraîne un effet dépressif marqué sur les rendements de la descendance.

Les progrès relativement lents et limités à l'intérieur des populations étudiées sont en grande partie dus à la consanguinité trop élevée, conséquence de l'origine génétique étroite du matériel de départ. Quant aux résultats remarquables des croisements inter-origines, ils peuvent s'expliquer par le manque de parenté entre les géniteurs.

Il est donc indispensable de rétablir une variabilité génétique dans les populations de base par les nouvelles introductions et par des croisements inter-origines.

. 1.8. Méthodes actuelles d'amélioration

Aujourd'hui, les méthodes d'amélioration appliquées à *Elaeis* appartiennent pratiquement toutes au système de sélection récurrente.

Ci-dessous, nous présentons un aperçu des méthodes de travail suivies au Congo avant 1960, en Côte d'Ivoire, au Nigeria, en Extrême-Orient et en Amérique latine.

- Travaux d'amélioration réalisés à l'INEAC (Yangambi, Congo)

L'INEAC poursuivait simultanément l'exécution de quatre programmes: le programme "*tenera*", le programme "*dura et pisifera*", le programme "hauteur du stipe" et le programme "introduction".

Le programme des "six tenera"

Dans la méthode utilisée, *dura* et *pisifera* étaient jugés, avant tout, par la performance de leurs parents *tenera*. Cette hypothèse était-elle exacte? Seuls des essais comparatifs où seraient représentés les divers croisements D x P réalisés, devraient pouvoir répondre, en partie tout au moins, à cette question.

Programme "dura et pisifera"

Ce programme appartient au système de sélection récurrente réciproque. Deux sources, en l'occurrence *dura* et *pisifera*, forment le point de départ de ce programme et sont croisées en essais comparatifs .

Tous les parents utilisés en croisements intersouches peuvent aussi l'être en autofécondations et en combinaisons intrasouches. De ce fait, les descendances autofécondées de palmiers choisis aussi bien que ceux-ci peuvent être employés en vue de la fourniture de semences.

Programme "/Hauteur du stipe"

Ce programme comportait l'étude de divers matériels : descendance de Yangambi à faible élongation du tronc, certains palmiers de Malaisie et *Elaeis oleifera*. Cet intéressant programme n'a malheureusement pas été poursuivi. Dans le cas d'une reprise sérieuse des travaux d'amélioration, il faudrait envisager, entre autres, des croisements entre les diverses sources de matériel.

Programme "introduction"

De nombreuses prospections ont été réalisées dans diverses plantations, dans des palmeraies spontanées, plus rarement dans des peuplements subspontanés. Les candidats arbres-mères étaient choisis suivant des critères très sévères.

Le programme comportait différents stades:

- autofécondation des individus repérés et introduction des descendance dans des essais de triage,
- croisements des candidats avec deux *tenera* de Yangambi jouant le rôle de testeur (aptitude à la combinaison),
- maintien de trois *tenera* élite devant être entrecroisés dans le programme des "six *tenera*".

• Travaux d'amélioration réalisés à l'**IRHO** (La Mé, Côte d'Ivoire) L'amélioration est basée avant tout sur le concept de supériorité des croisements inter-origines. Partant de là, c'est le système de sélection réciproque, complété par un programme d'autofécondation qui a été adopté.

La sélection se réalise comme suit (Figure 7.6) : le matériel est scindé en deux groupes :

- le groupe A, composé de *dura* d'origine Deli, provient de diverses sources, Socfin et Guthrie en Malaisie, Dabou en Côte d'Ivoire, croisements "La Mé x Dabou" et "Yangambi x Deli".
- le groupe B est formé de *tenera* et de *pisifera* retenus dans les origines La Mé, Pobé, Yangambi, Nigeria, La Mé x Dabou. D'autres sources sont venues s'y ajouter prospections en Côte d'Ivoire et en Angola, nouvelles introductions de l'étranger.

Le premier choix de géniteurs a porté sur 74 *dura* (A) et 172 *tenera* et *pisifera* (B). Les palmiers choisis en A et en B ont été soumis à un test de façon à connaître les individus de A qui se combinent le mieux avec ceux de B et

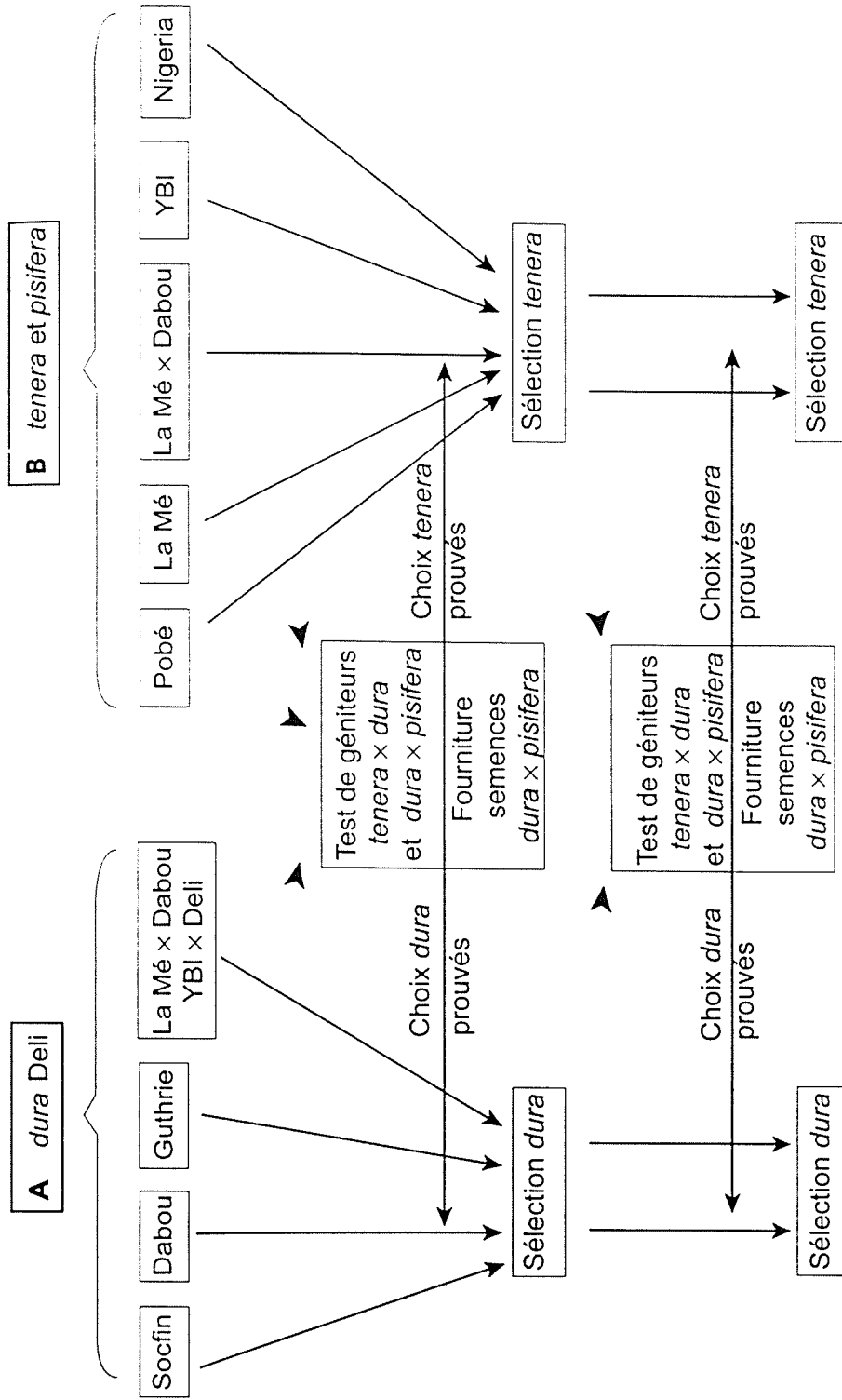


Figure .6 — Schéma des travaux d'amélioration génétique (La Côte d'Ivoire) (d'après HARPLEY, 1988).

réciroquement. À mesure de l'obtention des résultats des essais comparatifs auxquels les croisements précités ont donné lieu, les meilleurs parents *dura* d'une part, et les meilleurs parents *tenera* d'autre part, sont croisés entre eux en vue d'établir une deuxième génération de sélection, sur laquelle va se répéter le même processus que sur la première.

Les fournitures de semences s'effectuent au départ de porte-graines et de fournisseurs de pollen éprouvés (*dura* A x *pisifera* B).

Le programme d'autofécondation a pour but une meilleure connaissance du matériel et éventuellement un début de sélection classique par autofécondation. L'autofécondation peut mettre en lumière l'un ou l'autre défaut d'un géniteur (susceptibilité à une maladie, anomalies diverses, ...) ; elle permet l'élimination de certains palmiers choisis sur test des géniteurs mais porteurs de tares.

Ces autofécondations peuvent également être utilisées pour la fourniture de graines : on peut chercher à reproduire une excellente combinaison A x B en croisant les *dura* issus de l'autofécondation de A par les *pisifera* issus de l'autofécondation de B.

- Travaux d'amélioration réalisés au WAIFOR, aujourd'hui NIFOR (Nigeria)

Le programme d'amélioration adopté par le "West African Institute for Oil Palm Research", actuellement Nigerian Institute for Oil Palm Research (NIFOR), est inspiré par celui des six *tenera* d'élite de l'INEAC. Toutefois, il prévoit deux sources de matériel, l'une *tenera*, l'autre *dura*, ce qui en fait un système de sélection récurrente réciproque. Le système adopté par le WAIFOR comporte, néanmoins, un nouvel élément: l'appariement des géniteurs à rendement et caractéristiques du fruit similaires.

Le principe directeur de ce système consiste, lors du choix des combinaisons, à prendre en considération tous les facteurs de rendement et de qualité du régime et à procéder de telle façon que les caractéristiques désirables soient renforcées et que les défauts soient compensés. À cet effet, les palmiers à rendement et composition du régime semblables sont appariés. Ils sont croisés entre eux pour accentuer les qualités spécifiques et sont aussi croisés avec d'autres ayant des caractéristiques complémentaires, en vue de compenser leurs déficiences. Le processus de sélection suivi par le NIFOR est détaillé ci-dessous et schématisé à la figure 7.7.

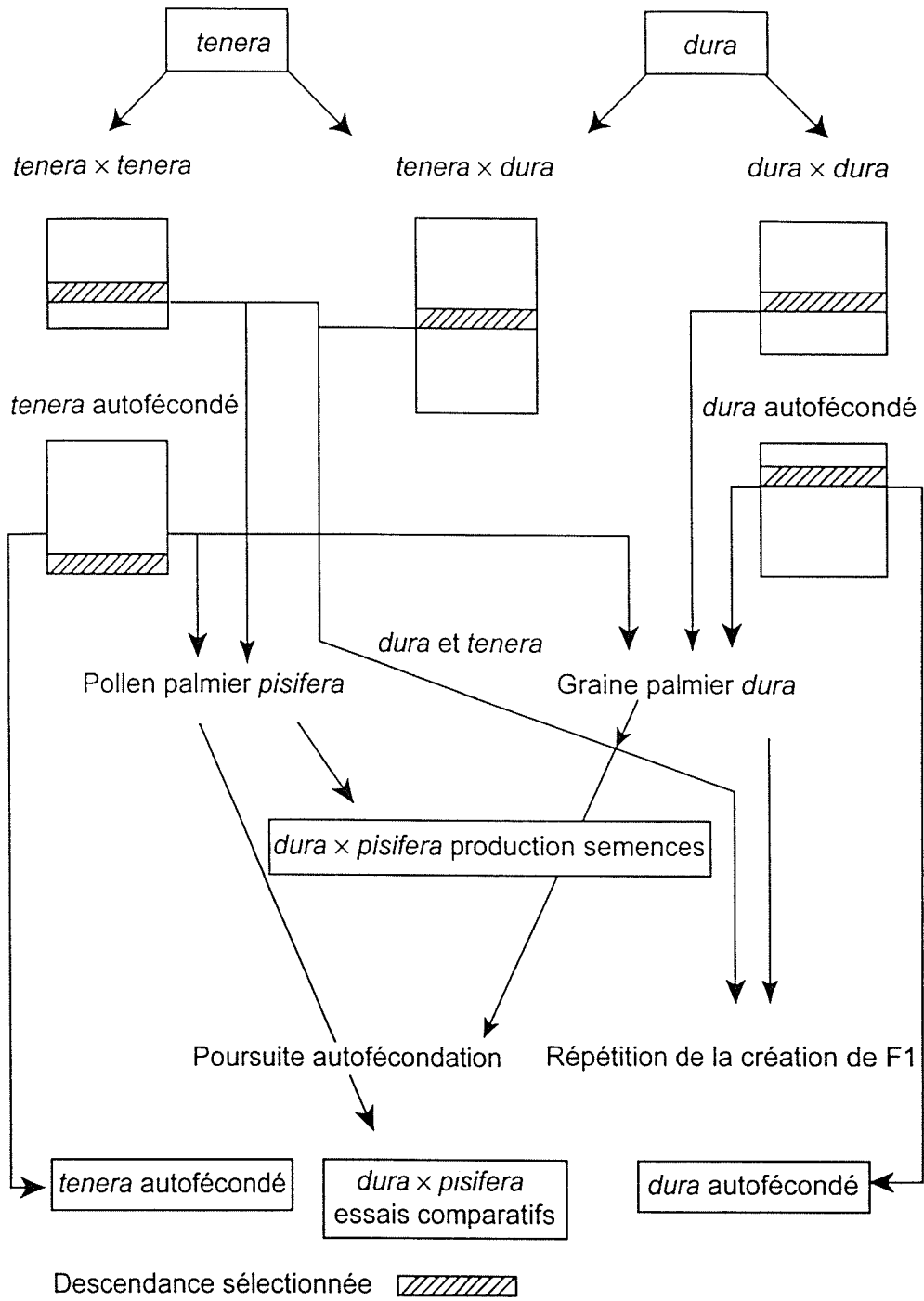


Figure .7 — Programme d'amélioration pratiqué au Nigerian Institute for Oil Research (NIFOR) (d'après HARTLEY, 1988).

Le matériel de base est constitué par les meilleurs palmiers issus des sélections précédentes, par des introductions étrangères diverses et des arbres repérés lors des prospections. Les géniteurs choisis dans ces différentes provenances sont scindés en deux groupes: *tenera* et *dura*.

Les *tenera* choisis sont auto fécondés et croisés entre eux. Il en est de même des *dura*. En outre, *fenera* et *dura* sont entrecroisés. Toutes ces descendance sont plantées en essais comparatifs. Au sein des autofécondations de *dura* et celles de *tenera* qui ont fait preuve d'une bonne aptitude à la combinaison (O x T), on procède à un choix de nouveaux arbres d'élite *dura* et *tenera*, point de départ d'un nouveau cycle de sélection, semblable au premier, et ainsi de suite. À partir de ce système, la fourniture des semences se pratique de la manière suivante.

- Les porte-graines *dura* sont choisis, à la fois, parmi les descendants issus d'autofécondations des *fenera* et dans ceux des *dura* qui ont satisfait au test d'aptitude au croisement (O x P), mais aussi parmi les croisements *inferdura* qui se sont révélés les meilleurs.
- Le pollen est récolté sur les *pisifera* issus des autofécondations *tenera* et des croisements *inferfenera*.
- À partir de la deuxième génération, on procède à un test des croisements *dura* x *pisifera* effectués entre les *dura* choisis pour le deuxième cycle de sélection et les *pisifera* repérés dans les autofécondations dont proviennent les arbres mères *tenera* de la deuxième génération. Les résultats de l'essai comparatif indiqueront les meilleures combinaisons à utiliser pour la production de semences.

• Travaux d'amélioration réalisés en Extrême-Orient

Sumatra

L'AYROS a repris ses activités sous le nom de RISPA (Research Institute of the Sumatra Plantation Companies Association).

Les méthodes appliquées s'apparentent à celles d'Afrique en ce sens que la sélection au sein des meilleurs Oeli a été continuée simultanément à celle des souches *tenera*. Des tests de croisements *dura* x *tenera* et *dura* x *pisifera* ont aussi été pratiqués. Bien que la séparation entre les origines Oeli et "africaine" soit maintenue, un programme d'autofécondation de *Deli-tenera* est poursuivi.

Malaisie

Grâce à de nombreux échanges de graines avec l'étranger, le matériel de base a pu être fortement enrichi. L'amélioration est axée:

- sur la sélection d'arbres Oeli au sein des descendance à haute productivité en régimes à teneur élevée en huile,
- sur les croisements de ces derniers avec des *pisifera* appartenant à des lignées issues de *tenera* x *tenera* dont les fonnes *dura* et *tenera* réalisent de belles performances à tous les points de vue.

Ce programme est suivi de tests de la descendance de *pisifera* considérés individuellement (**Figure .8**).

Une certaine attention est également accordée aux résultats des croisements interspécifiques *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*.

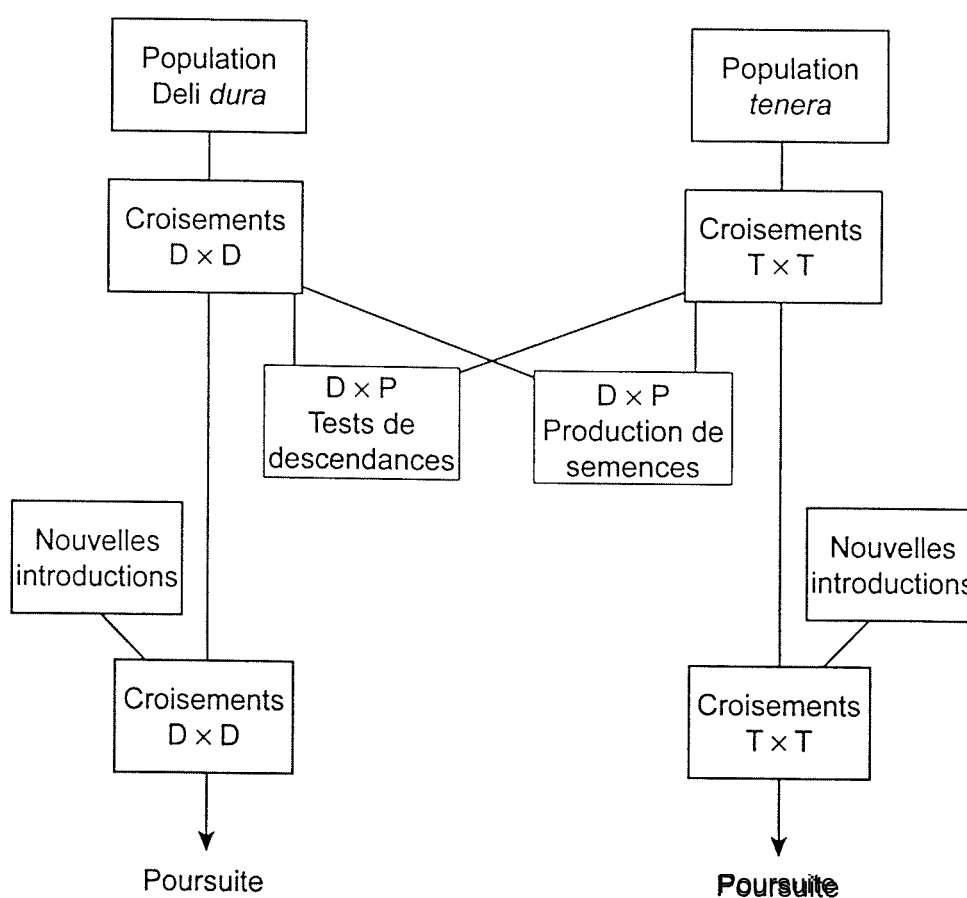


Figure .8 — Schéma des travaux d'amélioration pratiques en Malaisie (d'après RAJANAIDU *et al.*, 1985).

D : Deli (*dura*) – T : *tenera* – P : *pisifera*.

- Travaux d'amélioration réalisés en Amérique latine

La grande majorité des premières exploitations en Amérique latine et la plupart des plantations réalisées à partir de 1959 ont leur origine dans une collection de graines introduites en 1926 par l'"United Fruit Company" et semées au Jardin expérimental de Lancetilla près de Tela au Honduras.

La collection comprend du matériel africain existant déjà à Bobos au Guatemala et des graines récoltées par le Dr FAIRCHILD, de même que du matériel Deli collecté à partir de diverses sources à Java, Sumatra et Malaisie. La collection originale comprend également des *tenera* à pollinisation ouverte importés d'Afrique.

Après 1960, la plupart des plantations utilisent du matériel originaire du Honduras et croisé avec des *pisifera* locaux ou importés sous forme de pollen de Côte d'Ivoire, Cameroun, Malaisie et Surinam. Au Costa Rica, un programme d'amélioration réalisé avec du matériel importé a été établi à partir de 1960 par la "United Brands Company". La station expérimentale devint un grand producteur de semences commerciales de type "*dura* x *pisifera*" sur le continent américain.

.1.9. Nouvelles tendances dans l'amélioration du palmier à huile

- Consanguinité

Les effets dépressifs de la consanguinité sur la production des régimes expliquent, dans une large mesure, les lents et faibles progrès réalisés dans les croisements intrapopulations et les succès enregistrés dans les croisements interorigines.

En remplacement de la sélection récurrente réciproque, il est suggéré que l'amélioration soit dirigée vers l'enrichissement de la variabilité génétique dans le matériel de base, par de nouvelles introductions et des intercroisements entre les géniteurs de diverses origines. Dans de telles populations, génétiquement plus variables, la sélection s'effectuerait sur la performance individuelle et celle des familles.

- Paramètres de croissance

Jusqu'ici, le choix des géniteurs a reposé, en ordre principal, sur la production en régimes, la teneur en huile sur régime, la résistance aux maladies. D'autres facteurs sont actuellement avancés: la longueur des palmes, la vitesse d'élongation du stipe, la force de succion des racines.

En Malaisie, une méthode prometteuse destinée à obtenir les plus hauts rendements chez le palmier à huile paraît être la sélection basée sur une meilleure

répartition des substances assimilées entre la croissance végétative et le rendement économique (IR : index régimes ou IH : index huile). Des individus choisis avec un IR élevé et un MSV (poids total de matière sèche végétative produite annuellement par palmier) bas permettraient de planter à une plus forte densité que celle couramment considérée comme optimale, ce qui conduirait à de plus hauts rendements à l'unité de surface, bien que les productions individuelles des arbres ne seraient probablement pas augmentées de façon marquée.

- Hybrides interspécifiques : utilisation d'*Elaeis oleifera*

L'intérêt du palmier américain (*Elaeis oleifera*) utilisé en amélioration a augmenté au cours des dernières années, principalement à cause de son apparente résistance à une forme de *Phytophthora* sp. (*bud rot*) en Colombie.

De plus, l'hybride avec *E. guineensis* est promis à un bel avenir grâce à sa croissance en hauteur relativement lente, sa possible adaptation à des climats présentant une saison sèche sévère, sa résistance à d'autres maladies et sa production d'une huile présentant une plus grande proportion d'acides gras insaturés que chez *E. guineensis*. Mais si les caractères précités représentent des avantages certains, les hybrides souffrent malheureusement de certains défauts. Il a en effet été estimé que le faible rapport fruits sur régime et le faible pourcentage d'huile du mésocarpe fournissent une extraction d'huile sur régime de 17 % seulement pour 22-23 % pour les meilleurs *tenera* de *E. guineensis*.

Certains hybrides, en Afrique, ont entre autre été infestés par *Cereospora e/aedis* Steyaert. On espère chez ces hybrides, mise à part la résistance au *Phytophthora* sp. (*bud rot*), mettre en évidence une résistance au *Fusarium oxysporum* (*vaseular wilt disease*).

.1.10. Multiplication

- Propagation générative

La pollinisation artificielle (*controlled pollination*) utilisée en vue de la multiplication des palmiers d'élite peut, de prime abord, paraître relativement simple du fait des quantités importantes de pollen dont on dispose et des grandes dimensions des inflorescences. Cette simplicité est toute relative et exige de nombreuses précautions dans l'isolement des inflorescences mâles et femelles, dans la récolte et le traitement du pollen, dans la pollinisation proprement dite et les manipulations ultérieures des fruits produits. Les fruits devront, en effet, être dépulés soit mécaniquement (*dura*), soit par fermentation (*tenera*). Les graines obtenues doivent être triées, les plus petites et les plus légères étant éliminées soit après triage manuel, soit par flottaison.

Après triage, les graines sont généralement saupoudrées à sec avec un organomercurique et comptées au moyen de planchettes à 100 logements. Elles sont finalement stockées en sacs de cretonne et placées en chambre conditionnée (22°C et 50 à 60 % d'humidité relative).

- Propagation végétative

Depuis près de quarante années (1960), les recherches se sont orientées vers la multiplication végétative d'individus très productifs.

Ce mode de reproduction asexuée permet, en théorie, d'obtenir un nombre illimité d'arbres à partir d'une seule plante-mère. Mais le palmier est naturellement incapable d'une reproduction végétative. Il ne forme pas de rejets susceptibles d'être replantés; les feuilles ne bouturent pas naturellement; n'ayant qu'un seul tronc (stipe) sans ramifications, il n'est pas possible de prélever des rameaux qu'on pourrait greffer. Il fallait donc utiliser des méthodes de culture *in vitro*.

Différentes voies ont été prospectées. Si la multiplication *in vitro* à partir de l'apex fut un échec, d'autres voies furent prospectées qui consistaient à provoquer la régénération de plantules à partir de cals provenant de différents fragments d'organes: racines, inflorescences, feuilles (Figure 7.9) ..

En partant de tissus foliaires, les explants d'initiation des cultures sont des fragments de jeunes feuilles non ouvertes. Après leur mise en culture en conditions stériles, les explants sont stockés durant 12 semaines dans des pièces de culture à atmosphère et éclairage contrôlés. À ce moment, certaines cellules se divisent et forment des cals qui apparaissent au niveau des nervures. Ces cals sont isolés et repiqués sur un autre milieu de culture favorable à l'organogenèse, puis stockés dans des pièces de culture. Après au moins deux mois, parfois beaucoup plus, des structures organisées apparaissent sur certains cals, ce sont des embryons somatiques ou embryoides possédant un pôle caulinaire et un pôle racinaire. En quatre mois, ces embryoides repiqués sur un nouveau milieu de culture évoluent en plantules qui sont transférées en conditions normales de culture.

Bien que peu de cals portent des embryoides, le taux de multiplication est élevé parce que ces embryoides peuvent donner naissance à des embryoides secondaires. Au sein d'un massif d'embryoïdes, tous les stades de développement sont représentés. À chaque repiquage, les embryoides les plus âgés sont isolés, ils évolueront en plantules, les plus jeunes continueront à assurer la multiplication du clone.

Deux grandes phases se dégagent dans le processus:

- la création des clones développant la callogenèse et l'organogenèse (jusqu'à l'obtention des premiers embryoides) ;

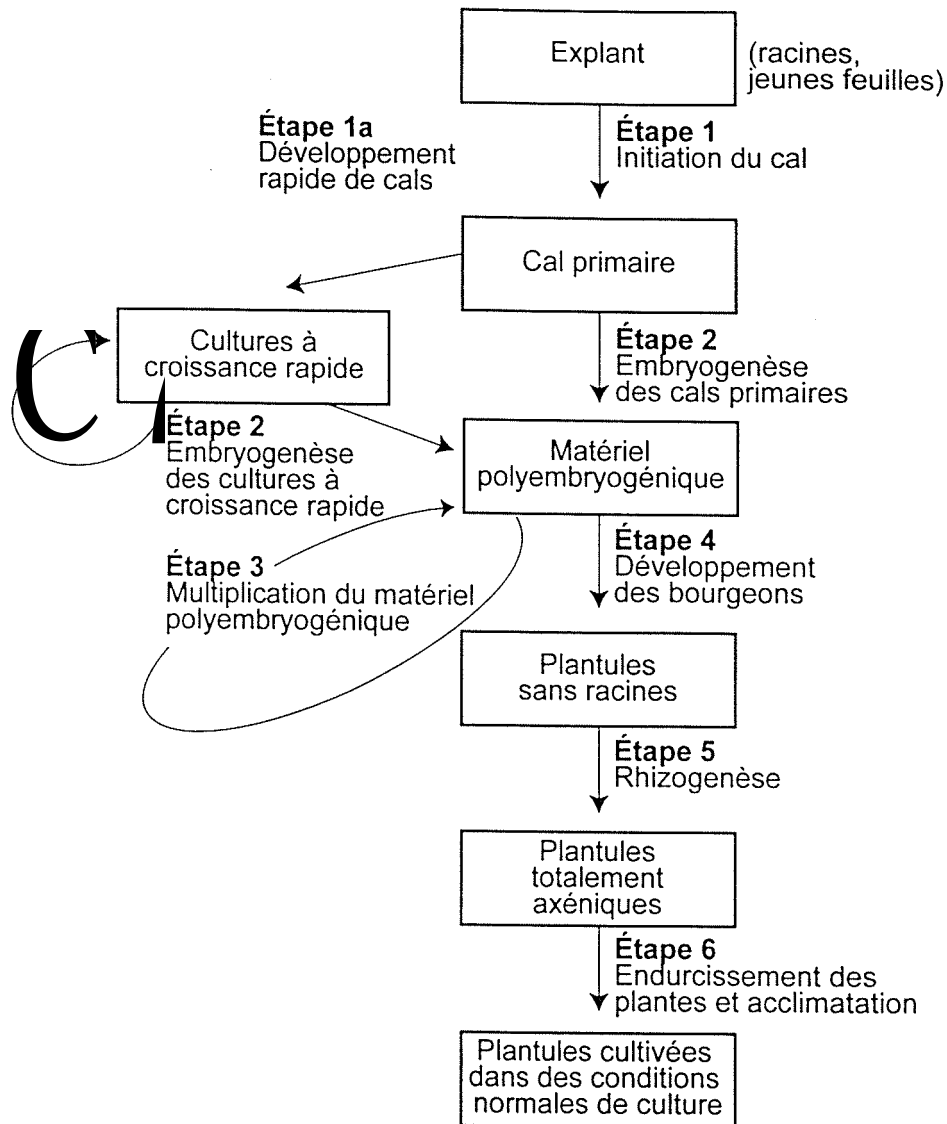


Figure .9 - Propagation du palmier à huile par culture de tissus (d'après JONES, 1983 adapté de LOIRET, 1981)

- la production de plantules provenant de la multiplication des embryoïdes suivie de leur développement et du transfert en conditions normales de culture.

L'utilisation des processus d'embryogenèse somatique pour cloner des individus nécessite de vérifier que le procédé mis en œuvre est conservatif et qu'aucune modification irréversible de structure ou de fonctionnement du patrimoine héréditaire ne se manifeste.

Rappelons que le phénotype d'un arbre est la résultante de son génotype et de son environnement. L'importance de ce dernier rend difficile le choix des arbres qui donneront les meilleurs clones.

S'il est important de vérifier la conformité de la reproduction par culture *in vitro*, de nombreux indices militent en faveur d'une reproduction conforme. En effet, on peut, dès à présent, remarquer que les anomalies sur vitro-plants sont exceptionnelles, que les stocks chromosomiques ne sont pas modifiés, que les premières inflorescences des jeunes clones sont normales ainsi que leur aspect végétatif.

Les perspectives de commercialisation des vitro-plants seraient bonnes en raison de l'augmentation de production attendue et de la durée d'exploitation des arbres.

2.2. L'arachide *Arachis*

hypogea L. $2n = 40$

.. 1. Botanique

L'arachide appartient à l'ordre des Fabales, famille des *Papilionaceae*, tribu des *Aeschynomeneae*, genre *Arachis*. Tous les représentants du genre *Arachis* présentent des caractères communs.

Ce sont des plantes herbacées ou ligneuses à leur base, pérennes ou annuelles. Les fleurs présentent un long tube calicinal à aspect de pédoncule floral terminé par cinq lobes dont quatre soudés, des pétales et des étamines insérés au sommet du tube calicinal (**Figure .**). Les étamines au nombre de dix, sont réunies sur une partie de leur longueur pour former un tube. Les longues étamines alternent avec les courtes. L'ovaire est sessile, contient une à six loges filiformes et est terminé par un petit stigmate. La fructification est enterrée par élancement de la base de l'ovaire.

En 1994, KRAPOVICKAS et GREGORY proposent une classification du genre *Arachis*; elle est reprise de façon sommaire au **tableau .2.**

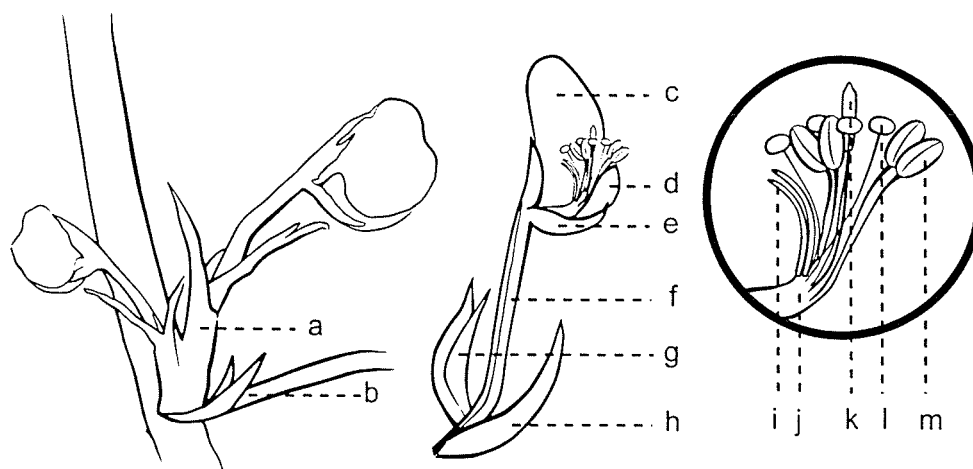


Figure. - Inflorescence et fleur d'*Arachis hypogaea* L.

a : inflorescence composée de deux fleurs - b: stipules - c : étendard - d : ailes e : éperon - f: hypanthium (tube calicinal) - g : bractée bifide - h : cataphylle ou bractée située à la base de chaque branche florale - i : étamines stériles - j : colonne staminale k : stigmate - l : étamines en massue - m : étamine oblongue.

Le nombre chromosomique de base du genre *Arachis* est de $x = 10$. La plupart des espèces possèdent $2n = 20$ chromosomes. Elles sont diploïdes. Quant à l'arachide cultivée *Arachis hypogaea* et sa forme sauvage *Arachis monticola*, elles sont tétraploïdes avec $2n = 40$ chromosomes.

Les ressources génétiques primaires comprennent *A. hypogaea* et sa forme sauvage *A. monticola*.

Les ressources génétiques secondaires comprennent les espèces diploïdes de la section *Arachis* avec les génomes A ou B. Ces espèces ont été croisées avec *A. hypogaea* et les hybrides triploïdes sont stériles ou partiellement fertiles.

Les ressources génétiques tertiaires comprennent toutes les espèces dans les sections autres que *Arachis*.

A. hypogaea, espèce amphidiploïde cultivée, est composée de deux subgénomes différents, très probablement *A. duranensis* et *A. batizocoi*. Si *A. hypogaea* est la seule espèce cultivée du genre, sa variabilité intraspécifique est très grande. Cela a permis de définir des entités botaniques distinctes (**Tableau 7.3**).

Tableau 2 - Classification sommaire du genre *Arachis* (d'après KRAPOVICKAS et GREGORY, 1994).

Section/série	Nombre d'espèces	Niveau de ploïdie	Quelques espèces
<i>Ereeloides/Trifoliales</i>	2	2n	<i>A. gllaranilia</i> <i>A. lllberosa</i>
<i>Ereeloides/Telr(-foliales)</i>	15	2n	<i>A. marlii</i> <i>A. benlhamii</i> <i>A. paragllariensis</i> <i>A. oleroi</i>
<i>Ex/raller/Osae</i>	8	2n	<i>A. vil/osll/icarpa</i> <i>A. margina/a</i> <i>A. pros Ira/a</i> <i>A. Ill/escens</i> <i>A. macedoi</i>
<i>Triseillinalae</i>	1	2n	<i>A. /risemina/is</i>
<i>Ambinervosae</i>	4	2n	<i>A. sylves/ris</i> <i>A. pusi/la</i>
<i>Calilorhi:::ae</i>	2	2n	<i>A. repens</i> <i>A. pinloi</i>
<i>Proclllllbensae</i>	8	2n	<i>A. rigonii</i>
<i>Rhi:::omalosae/</i>			
<i>Prorhi:::oma/osae</i>	1	2n	<i>A. bukar/ii</i>
<i>Rhizoma/osae/</i>			
<i>Eurhizoma/osae</i>	2	4n	<i>A. glabrala</i>
<i>Arachis/Perennes</i>	20	2n	<i>A. vil/osa</i> <i>A. diogoi</i> <i>A. helodes</i> <i>A. cardenasis</i> <i>A. chacoensis</i> <i>A. stenosperma</i>
<i>Arachis/Anllae</i>	12	2n	<i>A. batizocoi</i> <i>A. duranensis</i>
<i>Arachis/Amphiploides</i>	2	4n	<i>A. hypogaea</i> <i>A. monticola</i>

Tableau .3 - Classification de l'arachide cultivée.

<i>Arachis hypogaea</i>	
sous-espèce <i>hypogaea</i>	sous-espèce <i>fastigiata</i>
variété <i>hypogaea</i> (Virginia)	variété <i>fastigiata</i> (Valencia)
variété <i>hirsuta</i> (Peruvian et Runner)	variété <i>vulgaris</i> (Spanish et Natal)

.2. Système de reproduction

• Inflorescence, fleur et fruit

Les inflorescences chez l'arachide se présentent comme des racèmes de trois à cinq fleurs (Figure 7.14). Elles prennent naissance sur un rameau végétatif, à l'aisselle d'une feuille complète ou rudimentaire (site).

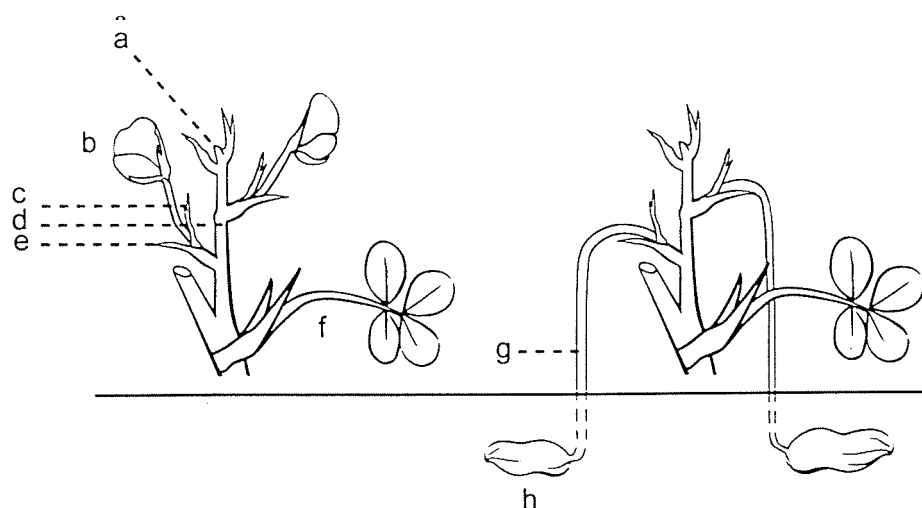


Figure .14 - Inflorescence d'arachide dont les entre-nœuds ont été allongés sans souci des proportions réelles.

a : bourgeon terminal de l'inflorescence - b : fleur - c : bractée bifide - d : entre-nœudse : cataphylle - f : feuille - g : gynophore - h : gousse.

Les fleurs sont jaunes, papilionacées et sessiles. Elles sont cléistogames, ce qui signifie que l'autogamie est pratiquement totale chez l'arachide. Certaines de ces fleurs prenant naissance à la base de la plante peuvent même être enterrées; elles sont également fertiles et ne se distinguent des fleurs aériennes que par leurs sépales blancs et leurs pétales fripés.

Après fécondation, la base de l'ovaire s'allonge pour donner naissance au "gynophore" qui n'est, en fait, qu'une partie du fruit à l'extrémité duquel la gousse se développe après sa pénétration dans le sol. Le gynophore se développe verticalement sous l'effet d'un géotropisme positif. La gousse prend alors une position horizontale entre 2 et 7 cm sous la surface du sol. Ce fruit est composé d'un péricarpe ou coque et de deux à cinq graines.

Le péricarpe comprend un exocarpe très mince, un mésocarpe sclérenchymateux et un endocarpe parenchymateux.

La graine comporte un tégument séminal (spemlOdemle), un embryon composé de deux cotylédons riches en huile et en protéines et d'un axe droit. Cet axe de l'embryon est une proplantule, il comprend un épicotyle à trois bourgeons contenant déjà les éléments de six à huit feuilles et une racicule massive.

• **Autofécondation des fleurs**

Aucune précaution ne doit être prise quant à l'autofécondation des fleurs d'arachide. La nature cléistogame des fleurs réduit à très peu de choses les dangers d'hybridation.

• **Hybridation des fleurs**

La quasi stricte autogamie de l'arachide oblige l'améliorateur à effectuer manuellement les croisements désirés. Les méthodes d'hybridations préconisées par les expérimentateurs concordent dans leurs grandes lignes. Les quelques différences observées s'expliquent par les conditions écologiques dans lesquelles elles ont été pratiquées et par les variétés utilisées.

D'une manière générale, la castration se pratique au cours de la première partie de la nuit, entre 20 et 24 heures. Le bouton floral est pris délicatement entre le pouce et l'index de la main gauche, percé au milieu avec une aiguille de préparation à un seul tranchant et incisé depuis le milieu jusqu'en haut (**Figure .**).

Avec une fine pince, on peut alors enlever la majeure partie du calice, et souvent aussi une partie de la corolle. En poussant les ailes vers le bas avec la même pince, la carène se détache du stigmate et des anthères. Quand cela ne réussit pas, on peut abaisser la carène en insérant la pointe de la pince avec précaution, une légère pression fait tomber la carène, le stigmate et les anthères qui se trouvent ainsi libérées. L'enlèvement de la carène doit être fait avec prudence, car elle est solidement attachée et on risque de détacher tout le bourgeon du tube calicinal.

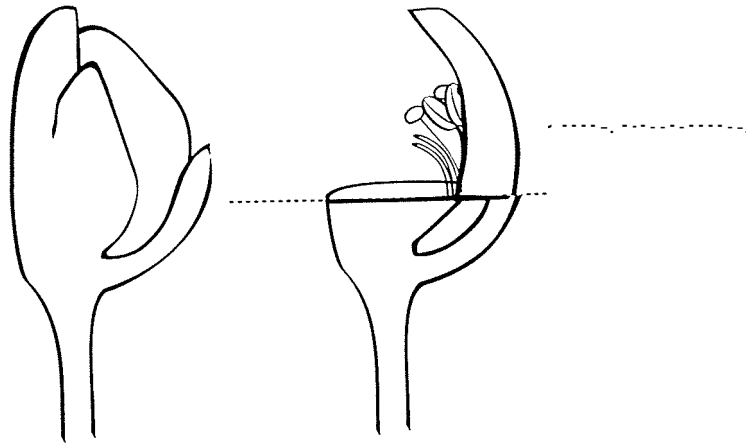


Figure. - Castration d'une fleur d'arachide (*Arachis hypogea* L.). L'usage de grosses loupes sur pied est très recommandé et libère les mains; un éclairage latéral puissant est très utile.

La pollinisation a lieu le jour suivant, tôt dans la matinée, souvent vers quatre heures du matin. L'hybridation manuelle de l'arachide est une opération délicate dont la réussite, toujours faible, dépasse rarement 50 %.

.. . 3. Critères de sélection

Les améliorateurs distinguent généralement trois grands types de caractères à améliorer: ceux qui intéressent directement la productivité, ceux qui intéressent l'utilisation du produit et ceux qui intéressent l'amélioration des résistances aux maladies et ennemis .

Rappelons que l'arachide est à la fois une plante oléagineuse et une légumineuse à graines alimentaires. Elle est utilisée généralement comme aliment, pour son huile, pour sa farine riche en protéines, accessoirement pour son fourrage (fanés).

Les programmes d'amélioration sont généralement orientés vers le développement des cultivars à productivité élevée en graines, à forte production d'huile, présentant une saveur agréable .

• Productivité

Aujourd'hui, l'augmentation de la production résulte plus d'une meilleure exploitation des fruits existants que d'une augmentation des sites d'inflorescences.

Les améliorateurs, pour qui l'augmentation de la productivité reste l'objectif principal, devraient donc modifier leurs priorités et modifier, autant que faire se peut, la structure des plants d'arachide pour augmenter la production de fruits.

- Rendements en huile

Il serait possible d'augmenter les rendements en huile chez les arachides. En effet, il a été montré que chez les cultivars, les rendements en huile variaient de 43 à 55 % environ et chez les espèces sauvages de 46 à 63 %. La variabilité observée dans les rendements en huile, surtout chez les arachides sauvages, suggère que le rendement en huile chez l'arachide pourrait encore être largement amélioré. Il faut cependant tempérer cet espoir car on sait aujourd'hui que l'augmentation du volume des graines se fait essentiellement à partir d'amidon.

Les huiles provenant des graines des différentes sous-espèces *d'Arachis hypogaea* diffèrent fortement dans leur tendance à la conservation. Les arachides du type Virginia produisent une huile contenant peu d'acide linoléique et tendent à avoir une huile plus stable que les arachides de type Spanish et Valencia.

Des hybrides réalisés entre différentes sous-espèces présentent des variations dans la composition chimique de l'huile produite.

- Rendement en protéines

Les graines d'arachide contiennent en moyenne 26 % de protéines, mais des variations existent quant à ce niveau dans différents génotypes. Très peu de travaux d'amélioration ont été réalisés dans ce domaine.

- Résistance aux maladies

Rouille

Des sources de résistance à *Puccinia arachidis* ont été identifiées dans les lignées suivantes:

- Tarapoto, originaire du Pérou ;
- Israël, lignée 136, sélectionnée dans le cultivar Virginia Odom, résistance contrôlée par deux gènes récessifs; -
- DHT 200, originaire du Pérou.

Ajoutons que différentes espèces sauvages du genre *A rachis* se sont montrées résistantes à la rouille (Tableau 7.4).

Tableau . - Espèces sauvages d'arachides immunes à *Puccinia arachidis*.

Espèce	Section	Origine
<i>A. durancensis</i>	<i>A rachis</i>	Argentine
<i>A. corrci/fina</i>	<i>A rachis</i>	Argentine
<i>A. cardenasii</i>	<i>A rachis</i>	Bolivie
<i>A. /risemina/is</i>	<i>Triseminalae</i>	Brésil
<i>A. sp. 9667</i>	<i>Rhizoma/osac</i>	Brésil
<i>A. sp. 10596</i>	<i>Rhizoma/osac</i>	Paraguay

Cercosporiose

La maladie des taches brunes est la plus commune des maladies de l'arachide. Elle est causée par *Cercospora arachidico/a* (cercosporiose précoce) et *Cercosporidium persona/um* (cercosporiose tardive).

Des sources de résistance peuvent être trouvées dans des variétés cultivées et dans des espèces sauvages: *A. chacoense* et *A. cardenasii*.

Aspergillus flavus LINK

L'aflatoxine produite par *Aspergillus flavus* est un problème majeur tant dans les pays développés que dans les pays en développement. La recherche génétique d'une résistance à la colonisation des graines par ce parasite est difficile.

Virus de la rosette

Ce virus est transmis par un puceron, *Aphis craccivora*. Des cultivars résistants à la rosette ont été développés au Sénégal et au Burkina Faso. Ces cultivars sont généralement utilisés comme source de résistance pour d'autres régions d'Afrique.

Sclerotium rolfsii (pourriture de la tige)

Aucune lignée résistante n'a encore pu être trouvée, bien que les arachides de type Virginia soient moins susceptibles que les autres.

• Résistance aux insectes et aux acariens

Les sources de résistance aux ennemis sont relativement rares et difficiles à déceler. Pour les thrips, des recherches importantes ont été réalisées, mais seules des résistances moyennes ont été trouvées.

Pour les acariens (*Tetrall'chus*), peu de résistances sont mentionnées chez les variétés d'*Arachis hypogaea*, mais certaines espèces sauvages du genre auraient une résistance proche de l'immunité.

. 4 .Méthodes de sélection

Les méthodes de sélection appliquées à l'amélioration de l'arachide sont les mêmes que celles utilisées pour l'amélioration des autres plantes autogames. Elles comprennent la sélection massale, la sélection généalogique, les rétrocroisements, les hybridations intra- ou interspécifiques. Toutes ces méthodes se sont montrées efficaces dans la création des meilleurs cultivars modernes.

• Sélection massale

Ce type de sélection a été pratiqué jadis dans des populations naturelles composées d'une mosaïque de formes stables suite à l'autogamie stricte de la plante. On peut y déceler des formes intéressantes, mais aucune amélioration importante n'est en général possible .

C'est une méthode qui ne peut être appliquée qu'à une population d'arachides présentant une variabilité suffisante afin de pouvoir en extraire les meilleurs génotypes (**Figure 7.16**).

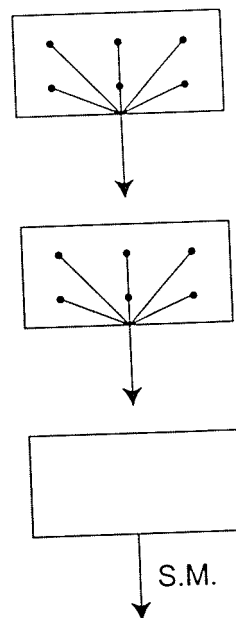


Figure 7.16 - La sélection massale.

0 • Sélection généalogique

Cette méthode (Figure .) appliquée sur une population d'origine suffisamment variable permet d'isoler des lignées pures possédant les plus grandes potentialités de production.

C'est une méthode qui présente les mêmes caractéristiques que la sélection massale, mais ici, les descendance de chacune des plantes choisies sont suivies séparément, permettant ainsi de sélectionner le génotype désiré.

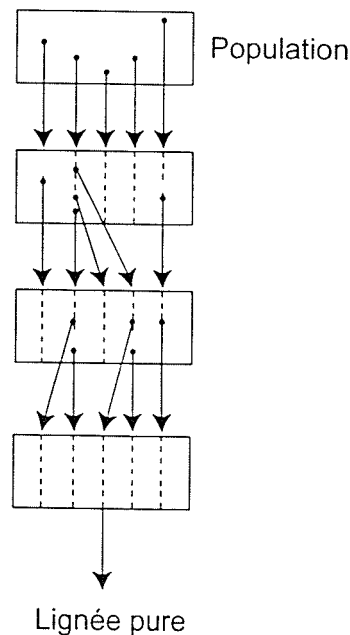


Figure. - La sélection généalogique.

• Hybridation intraspécifique

L'hybridation suivie par une sélection de type généalogique est probablement la méthode la plus utilisée dans l'amélioration de l'arachide (Figure .). Après hybridation, on multiplie la population obtenue au cours des premières générations, le choix des souches étant réalisé à la génération F₆ et même parfois plus tard lorsqu'il ne se manifeste plus de ségrégations.

Les descendance des souches choisies sont multipliées en un essai qui permet de trier les lignées en cours de sélection. Il comprend un très grand nombre d'objets (jusqu'à 100 et plus) et un petit nombre de répétitions (1 à 3). Il n'y a pas

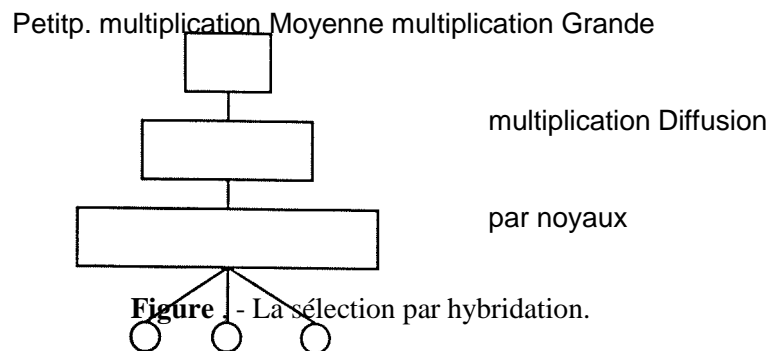
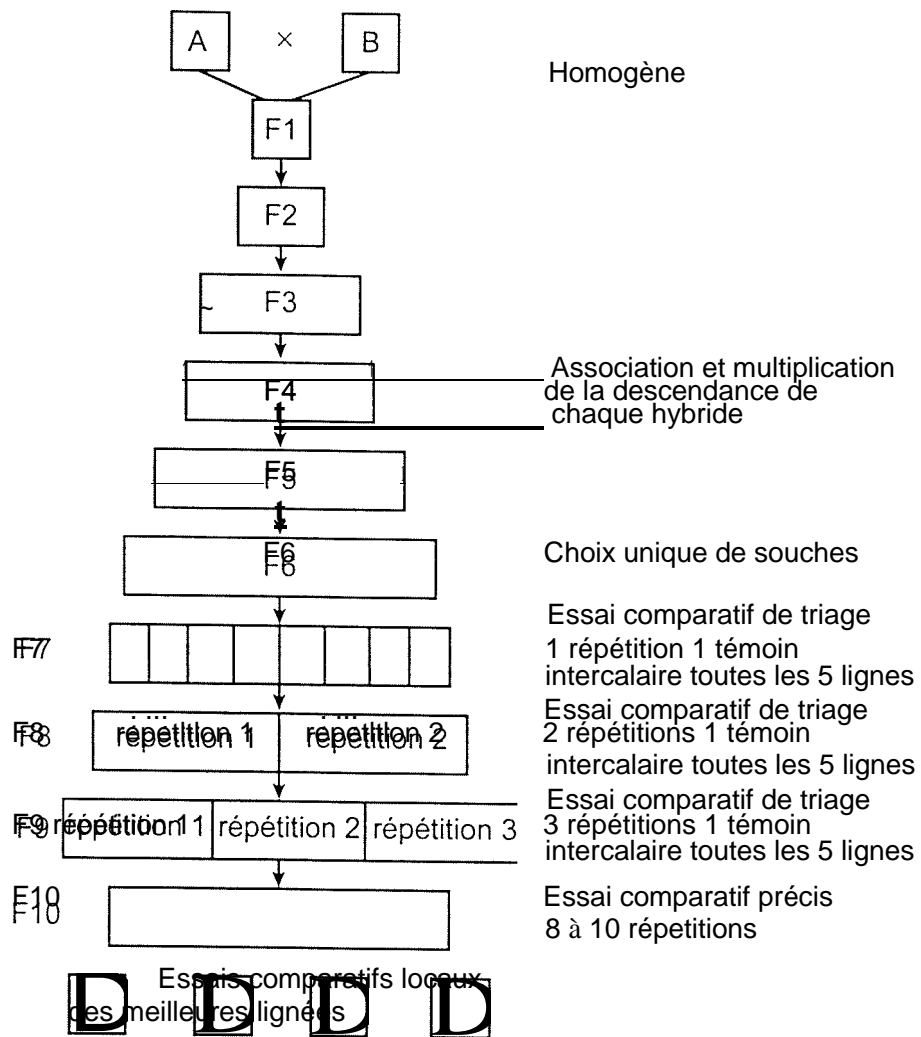


Figure 1 - La sélection par hybridation.

de répétition au hasard. mais un témoin est intercalé toutes les cinq parcelles. L'analyse se fait graphiquement. Le matériel amélioré arrivé au stade final de sélection est mis en compétition dans des essais comparatifs précis avec une variété témoin (généralement la variété diffusée).

Ces essais comprennent un nombre réduit d'objets répartis au hasard dans un certain nombre de répétitions (8 à 10).

Le matériel éprouvé en station est enfin mis en comparaison avec les variétés locales pendant plusieurs années dans diverses zones écologiques. Ces essais sont généralement conduits dans des centres d'adaptation locale.

Si une lignée s'avère particulièrement intéressante, elle sera multipliée et ensuite diffusée en milieu rural. L'arachide étant strictement autogame, elle sera diffusée par noyaux, sans qu'il y ait danger de mélange avec les anciennes variétés.

Cette méthode prend malheureusement beaucoup de temps. Après hybridation, il faut en moyenne 12 à 15 ans pour développer une nouvelle variété. C'est la raison pour laquelle une méthode pedigree modifiée a été proposée par certains auteurs utilisant la descendance d'une seule graine (méthode de la descendance monograine ou *single seed descent*).

Chaque plante F_2 de la population hybride est représentée par une seule graine dans les générations suivantes. La sélection est pratiquée parmi les lignées purifiées. Cette méthode, généralement combinée avec l'usage de serres et de chambres de culture, a permis, après 24 mois, d'évaluer des descendance F_s pour leurs caractéristiques fruits et leur résistance aux maladies.

Mais, quelle que soit la méthode de sélection utilisée, il est essentiel, au niveau de la F_2 , d'obtenir une variabilité importante. Celle-ci sera d'autant meilleure que les parents utilisés auront une origine géographique et génétique différente. Cette variabilité peut être fort grande dans le cas de croisements entre les différentes sous-espèces d'*A. hypogaea*.

Rappelons que les arachides cultivées sont groupées en entités botaniques distinctes (**Tableau .3**). Cela correspond dans la nature à des associations de caractères (**Tableau .5**).

Les hybridations réalisées entre des variétés appartenant à ces entités botaniques distinctes permettent de rompre ces liaisons et de cumuler, chez un même individu, des caractères appartenant à des groupes différents. La variabilité qui peut être obtenue tout en restant dans un cadre intraspécifique est grande et doit permettre de résoudre un grand nombre de problèmes.

Tableau .5 - Variabilité et liaisons observées dans l'espèce cultivée *Arachis hypogaea*.

Groupe à ramification alternée sous-espèce <i>hypogaea</i>	Groupe à ramification séquentielle sous-espèce <i>fastigiala</i>
<p>Les ramifications d'ordre n+ 1 sont de quatre à six, mais quelquefois davantage ; elles donnent successivement deux rameaux végétatifs et deux rameaux reproducteurs. Les ramifications qui apparaissent les rameaux reproducteurs atteignent un ordre élevé et leurs ramifications plus abondantes qui leur donne une allure buissonnante.</p>	<p>Les inflorescences apparaissent à plusieurs nœuds successifs de ramification ; elles présentent-elles un axe central, quatre nœuds à six ramifications d'ordre n+ 1, rarement plus et très peu de rameaux dans ce dernier cas, leur port est différent de celui du type séquentiel qui sont toujours érigées et généralement peu ramifiées.</p>

Caractères liés

- | | |
|---|---|
| - Les folioles sont petites et de couleur vert foncé. | - Les folioles sont plus grandes et d'un vert plus clair. |
| - Le tégument séminal de la graine a un aspect strié. | - Le tégument séminal de la graine a un aspect lisse. |
| - Le cycle végétatif est long, compris entre 110 et 160 jours sous climat tropical ou équatorial de plaine ; la maturation des graines est lente. | - Le cycle végétatif est court, compris entre 85 et 110 jours en climat tropical ou équatorial de plaine; la maturation des graines est rapide, |
| - Les graines présentent une période de dormance après récolte. | - Les graines ne présentent pas de période de dormance après récolte. |
| - L'huile contenue dans la graine est pauvre en acides gras insaturés, le rapport acide oléique sur acide linoléique est supérieur à 2. | - L'huile contenue dans la graine est riche en acides gras insaturés, le rapport acide oléique sur acide linoléique est inférieur à 2. |
| - Les variétés de ce groupe sont généralement assez tolérantes à la cercosporiose, certaines d'entre elles sont naturellement résistantes à la rosette. | - Les variétés de ce groupe sont plus sensibles à la cercosporiose, aucune d'entre elles n'est naturellement résistante à la rosette. |

Le **rétrocroisement** (*back-cross*) est aujourd'hui de plus en plus utilisé dans les programmes d'amélioration. On l'utilise lorsqu'on veut transmettre un caractère simple à une lignée d'arachides présentant un ensemble de caractères favorables.

• Hybridations interspécifiques

L'utilisation d'espèces sauvages dans l'amélioration de l'arachide cultivée est généralement freinée par des phénomènes d'incompatibilité et de stérilité. Les hybrides interspécifiques réalisés en utilisant *A. hypogaea* comme un des deux parents sont limités à la section *Arachis*. Il apparaît, en effet, que l'espèce cultivée est isolée des autres espèces à l'exception de celles de la section *Arachis*.

Il semble cependant que, grâce au fait que les espèces diploïdes du genre *Arachis* peuvent se croiser avec des espèces d'autres sections telles que *Erecloides* et *Rhizoglomeris*, le potentiel génétique des sections plus éloignées pourrait éventuellement être utilisé par les généticiens au travers des passerelles entre espèces. Cela signifie que la richesse du potentiel génétique chez l'arachide est du plus grand intérêt pour améliorer cette culture.

Remarquons cependant que les barrières de nature cytologique du genre *Arachis* sont telles qu'il est difficile pour un améliorateur d'utiliser les espèces sauvages dans l'amélioration de l'arachide. Les deux plus grandes difficultés rencontrées dans l'utilisation des espèces sauvages sont d'abord les différences observées au niveau de la ploïdie et ensuite l'incompatibilité observée entre espèces sauvages et *A. hypogaea* due à des différences structurales entre les chromosomes.

Les chercheurs tentent de surmonter ces difficultés, de produire des hybrides interspécifiques et de manipuler leur niveau de ploïdie pour produire des lignées tétraploïdes présentant des caractères intéressants et qui pourront, ensuite, être utilisées par des améliorateurs dans l'amélioration de l'arachide cultivée.

La section *Arachis*, en plus de *A. hypogaea*, contient une autre espèce tétraploïde, *A. monikola*, et d'autres espèces diploïdes. Toutes ces espèces sont compatibles avec *A. hypogaea*.

L'amélioration à partir de ces espèces compatibles nécessite le transfert d'un ou de plusieurs génomes d'espèces sauvages dans un hybride, lequel devra pouvoir se combiner avec le génome de *A. hypogaea* et pouvoir ainsi transférer des caractères intéressants à *A. hypogaea* tout en éliminant les caractères indésirables des espèces sauvages.

Une série de voies ont été adoptées pour réaliser ces objectifs:

- la voie du triploïde : l'espèce cultivée est croisée avec une espèce diploïde ($4n \times 2n$), le triploïde obtenu est doublé à la colchicine pour obtenir un hexaploïde, lequel sera rétrocroisé un certain nombre de fois par *A. hypogaea* afin de revenir au niveau tétraploïde;
- _ la voie de l'autotétraploïde : un diploïde sauvage est doublé à la colchicine puis croisé avec *A. hypogaea* ;
- _ la voie de l'amphidiploïdie : deux diploïdes sauvages sont croisés entre eux, l'hybride est doublé à la colchicine et ensuite croisé avec *A. hypogaea* ; -l'utilisation du tétraploïde sauvage: *A. mollicola* est croisé avec *A. hypogaea* et produit un hybride fertile.

Les chercheurs se sont également attachés aux barrières existant à l'hybridation et aux moyens de les briser. On n'a, en effet, jamais pu réaliser avec succès des hybridations entre *A. hypogaea* et les espèces situées en dehors d.; la section *Arachis*. Or, certaines espèces appartenant à d'autres sections possèdent un potentiel de gènes intéressants pour être utilisés dans l'amélioration de l'arachide. Des espèces sauvages tétraploïdes de la section *Rhizomatosae* sont d'un grand intérêt, car elles sont immunes à certains pathogènes.

Si la réalisation d'hybrides entre sections différentes a rarement été couronnée de succès, on tente aujourd'hui, par toute une série de techniques modernes de surmonter ces incompatibilités (en utilisant des hormones de croissance par exemple: cytokinine, kinétine, benzylamine purine, am;ïne, acide gibbérellique).

Retenons que des progrès considérables ont déjà été réalisés dans le domaine de l'hybridation interspécifique grâce à différentes voies d'utilisation des espèces sauvages. Les plantes produites et la variabilité qu'elles extériorisent indiquent qu'il existe un bon potentiel de transfert de caractères intéressants à partir d'espèces sauvages. Bien qu'à l'origine, ces dernières étaient simplement considérées comme source de résistance aux maladies, les descendances des croisements interspécifiques montrent également qu'il y aurait intérêt à étudier l'ensemble des espèces du genre *Arachis* pour d'autres caractères que ceux liés à cette résistance aux ennemis.

Des recherches assez récentes montrent également la possibilité de briser les barrières de stérilité entre *A. hypogaea* et des espèces sauvages en dehors de la section *Arachis*. Cela devrait permettre d'utiliser des caractères intéressants présents chez ces espèces (**Tableau .6**).

Tableau .6 - Résistances susceptibles d'être introgressés par les espèces sauvages du genre *Arochis*.

Maladies et ennemis	Espèces sauvages
Maladie des taches brunes (<i>lcaf SpO/</i>) (<i>Ccrosporidium personalwH</i>)	<i>A. pusilla</i> <i>A. chacoense</i> <i>A. chacoense</i> x <i>A. cardenasii</i> <i>A. glabrata</i>
Rouille (<i>rus/</i>) (<i>Puccinia arachidis</i>)	<i>A. duranensis</i> <i>A. correllina</i> <i>A. cardenasii</i> <i>A. chacoense</i> <i>A. chacoense</i> x <i>A. cardenasii</i> <i>A. lillosa</i> <i>A. vi//osu/icarpa</i> <i>A. glabrata</i> <i>A. bali::ocoi</i>
Maladie des taches brunes et Rouille (<i>lcaf SpOI and rus/</i>)	<i>A. chacoense</i> <i>A. chacoense</i> x <i>A. cardenasii</i> <i>A. glabrata</i>
Maladie bronzée de la tomate (<i>tomato spollcd ll'ill virus</i>)	<i>A. pusi//a</i> <i>A. glabrata</i>
Thrips et jassides	<i>A. chacoense</i> <i>A. bali::ocoi</i>
Pucerons	<i>A. chacoense</i> <i>A. balizocoi</i>

.. 5. Méthodes transgéniques appliquées à l'arachide

Des techniques de transgénèse devenues classiques sont utilisées sur arachides comme:

- inoculation des plants par *Agrobacterium tumefaciens* et *Agrobacterium rhizogenes*,
- transfert direct d'ADN par des impulsions électriques .

Le but principal de ces travaux est de tenter d'introduire dans l'arachide des gènes conférant des résistances aux virus (gènes du virus coat protein et du nucléocapside), des résistances aux insectes (les gènes des toxines de *Bacillus thuringiensis*) et des résistances aux champignons (peroxydase, thionine, chitinase, glucanase, etc.).

.. 6. Multiplication et diffusion des nouvelles sélections

Le faible pouvoir multiplicateur de l'arachide (rarement supérieur à 10) pose un problème quant à la multiplication et à la diffusion de nouvelles sélections.

Quoi qu'il en soit, l'arachide étant strictement autogame, elle peut être diffusée par noyaux, sans qu'il y ait danger de mélange avec les anciennes variétés.

Le problème semencier pour l'arachide varie cependant de pays à pays, selon le degré de technicité des cultivateurs et l'organisation de la production au niveau national. Dans les pays industrialisés, la semence sélectionnée est souvent livrée conditionnée, prête à être semée. Dans les pays en développement, bien organisés, la multiplication, le stockage et la distribution des semences sont assurés par le gouvernement suivant des organisations parfois assez complexes.

Dans beaucoup d'autres pays, le soin de produire et de conserver les semences est laissé à l'initiative des cultivateurs, ce qui rend difficile les changements de variétés et conduit parfois à l'utilisation de mauvaises semences.

III. AMELIORATION DES CEREALES

LES CEREALES MAJEURES

Les céréales majeures appartiennent toutes à la grande famille des *Poaceae*.

Elles présentent un certain intérêt dans la plupart des régions céréalières. Leurs productions sont généralement très élevées et de très nombreux travaux d'amélioration leur sont consacrés.

3.1. Le riz

Oryza sativa L.

$2n = 24$

.1.1. Botanique

Le riz est une céréale appartenant à la grande famille des *Poaceae*, à la sous-famille des *Olyzoideae*, section des *Oryzaceae*, genre *Oryza*.

En 1931, 20 espèces furent inventoriées dans le genre *Oryza* par ROSCHEVICI, 23 en 1948 par CHATIERJEE. Enfin, en 1963, après avoir réexaminé les différents spécimens dans les principaux herbariums du monde, TATEOKA a retenu 22 espèces différentes (**Tableau 8.1**). Parmi celles-ci, deux sont cultivées: *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* STEUDEL.

Ces espèces sont distribuées dans les tropiques humides d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Océanie. Une exception pour le riz commun, *O. sativa*, cosmopolite en tant que plante cultivée de première importance. Le nombre chromosomique de base dans le genre *Oryza* est 12. Quatre espèces, *O. minuta*, *O. latifolia*, *O. alta* et *O. grandiglumis*, qui sont associées à *O. officinalis*, sont tétraploïdes ($2n = 48$). Chez *O. punctata*, on trouve à la fois des tétraploïdes et des diploïdes à écologies

différentes. Par ailleurs, *O. ridleyi*, *O. longiglumis* et *O. eoaretata* sont reconnues comme tétraploïdes, toutes les autres espèces sont diploïdes.

Tableau .1 - Les espèces du genre *Oryza*, revues par TATEOKA (1963), leur nombre de chromosomes, le type génomique et leur distribution géographique.

Section, espèces	2n	Génome	Distribution géographique
Section <i>Oryzae</i>			
<i>O. sativa</i> L.	24	AA	Monde entier, cultivée
<i>O. rufipogon</i> GRIFFITH (= <i>O. perennis</i> MOENCH)	24	AA	Asie, Amérique
<i>O. barthii</i> A. CHEY. (= <i>O. longistaminata</i> A. CHEY. et ROEHL.)	24	AA	Afrique
<i>O. glaberrima</i> STUDEL	24	AA	Afrique, cultivée
<i>O. breviligulata</i> A. CHEY. et ROEHL. (= <i>barthii</i> in the sense of CLAYTON, 1968)	24	AA	Afrique
<i>O. australiensis</i> DOMIN	24	EE	Australie
<i>O. eichingeri</i> A. PETER	24	EE	Afrique
<i>O. punctata</i> KOTSCHY	24, 48	CC BB BBee	Afrique
<i>O. officinalis</i> WALL.	24	CC BB BBee	Asie
<i>O. minuta</i> J. S. BRESL	24	CC BB BBee	Asie
<i>O. minima</i> J. S. BRESL	48	BB BBee	Asie
<i>O. latifolia</i> DESY.	48	eeDD	Amérique
<i>O. alia</i> SWALLEN	48	eeDD	Amérique
<i>O. grandiglumis</i> PROD.	48	eeDD	Amérique
<i>O. grandiglumis</i> PROD.	48	eeDD	Amérique
Section <i>Sehleehertianae</i>			
<i>O. sehleehteri</i> PILGER			Nouvelle-Guinée
<i>O. sehleehteri</i> PILGER			Nouvelle-Guinée
Section <i>Granulatae</i>			
<i>O. meyeriana</i> BAILLON (= <i>granulata</i> NEES et ARN.) (= <i>granulata</i> NEES et ARN.)	24		Asie
Section <i>Ridleyanae</i>			
<i>O. ridleyi</i> HOOK. f.	48		Asie
<i>O. ridleyi</i> HOOK. f.	48		Asie
<i>O. fongiglumis</i> JANSEN	48		Nouvelle-Guinée
<i>O. fongiglumis</i> JANSEN	48		Nouvelle-Guinée
Section <i>Angustifoliae</i>			
<i>O. braehyantha</i> A. CHEY. et ROEHL.	24	FF	Afrique
<i>O. braehyantha</i> A. CHEY. et ROEHL.	24	FF	Afrique
<i>O. angustifolia</i> HUBB.	24		Afrique
<i>O. angustifolia</i> HUBB.	24		Afrique
<i>O. perrieri</i> A. CHEY.	24		Madagascar
<i>O. perrieri</i> A. CHEY.	24		Madagascar
<i>O. tisseranti</i> A. CHEY.	24		Afrique
<i>O. tisseranti</i> A. CHEY.	24		Afrique
Section <i>eoaretatae</i>			
<i>O. eoaretata</i> ROXB.	48		Asie
<i>O. eoaretata</i> ROXB.	48		Asie

Les deux espèces cultivées et les espèces sauvages proches sont considérées comme possédant le même génome, parce que leurs plants FI n'ont montré aucune perturbation significative dans les appariements chromosomiques. Les croisements entre espèces éloignées sont généralement difficiles. Seul un plant FI a été obtenu à partir de plus de 3 000 hybridations entre *O. saliva* et *O. brachyantha* grâce à des techniques modernes de culture d'embryons. Des croisements de *O. saliva* avec *O. ridleyi* et *O. meyeriana* ont été rapportés.

Le riz commun, *O. saliva*, est distribué dans toutes les régions tropicales du monde et dans une partie des régions tempérées. Sa domestication aux Indes, en Indochine, en Chine et en Indonésie est très ancienne (depuis 3 500 à 7 000 ans). La diffusion du riz commun dans les autres parties du monde peut être suivie historiquement de la manière suivante:

- Mésopotamie: 3^e siècle avant J.-C.
- Japon et Corée: 3^e et 2^e siècles avant J.-C.
- Égypte : 2^e siècle avant J.-C.
- Madagascar et Afrique de l'Est: 6^e siècle après J.-C. -
- Espagne: 9^e siècle après J.-c.
- Portugal: 12^e siècle après J.-c.
- Italie: 14^e siècle après J.-C.
- Afrique de l'Ouest: 15^e siècle après J.-c.
- Caraïbes : 15^e siècle après J.-c.
- Brésil: 15^e siècle après J.-C.
- Caroline du Sud: 17^e siècle après J.-C.
- Louisiane: 18^e siècle après J.-c.
- Californie: 19^e siècle après J.-C.
- Australie: 19^e siècle après J.-C.

Le riz africain, *O. glaberrima*, d'autre part, est endémique dans l'ouest de l'Afrique. Il est largement distribué dans les savanes sub-sahariennes. Cette espèce s'est développée en Afrique indépendamment de l'origine de *O. saliva* en Asie.

Les deux espèces de riz cultivé sont clairement distinguables par certains caractères. Comparé à *O. saliva*, *O. glaberrima* possède des ligules plus courtes, un nombre moindre de branches paniculaires secondaires, un axe paniculaire plus épais et est totalement annuel. Rappelons que *O. saliva* est essentiellement pérenne. Les deux espèces ont cependant le même génome et les appariements de chromosomes à la méiose de l'hybride sont normaux. Toutefois, les plants FI sont pratiquement mâles stériles. Ils peuvent cependant être rétrocroisés.

Les variétés rencontrées chez *O. saliva* peuvent être subdivisées en types *indica* et *japonica*.

- Le type *indica* possède des grains longs, minces et étroits, aplatis latéralement (rapport longueur / largeur : 3 à 3,5). Le limbe est clair et la feuille paniculaire forme un angle aigu avec la tige. Les variétés sont originaires de l'Inde, du Sri Lanka, de Java, de Formose, de Chine méridionale. Les graines présentent une période de dormance. Les plantes sont sensibles à la photopériode.
- Le type *japonica* possède des grains larges et épais à section arrondie (rapport longueur / largeur : 1,4 à 2,9). Le limbe est foncé et la feuille paniculaire forme un angle obtus avec la tige. Les variétés sont originaires du Japon, de Corée, de Chine septentrionale. Les graines ne manifestent pas de dormance. Les plantes ne sont pas sensibles à la photopériode.

1.2. Système de reproduction

• Inflorescence, fleur et fruit

La **panicule** est racémeuse. Elle est longue de 20 à 30 cm et comporte de 100 à 125 épillets uniflores. L'axe principal porte un nombre variable de ramifications primaires; leur angle d'insertion détermine la compacité de la panicule (**Figure 8.1**).

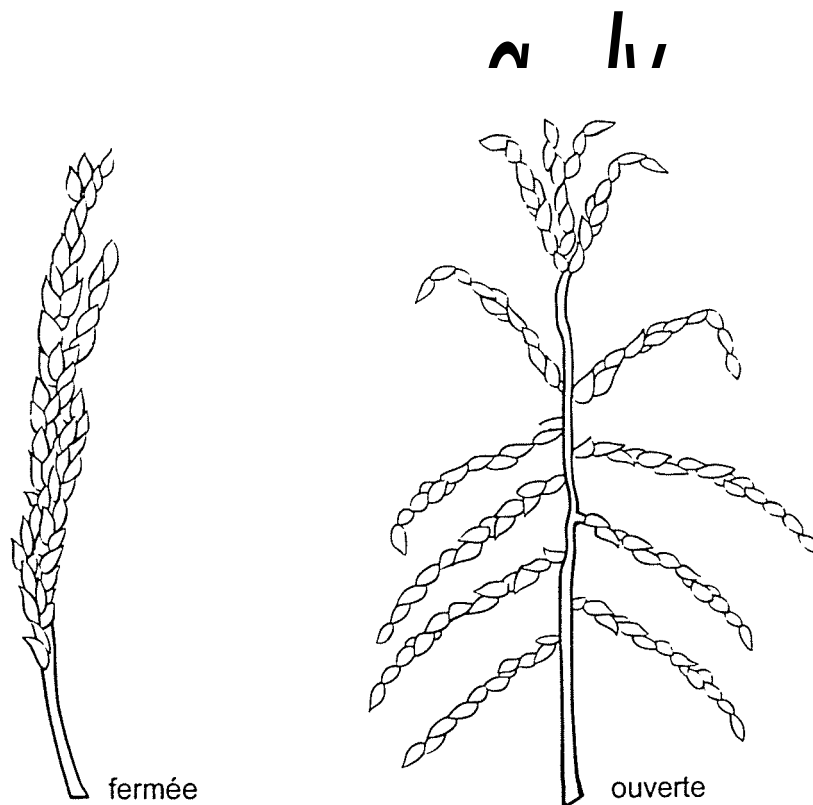


Figure 8.1 — Panicules du riz.

L'épillet est attaché aux ramifications de la panicule par un pédicelle. À sa partie inférieure, l'épillet porte deux glumes ne dépassant pas 2 à 3 mm. La fleur elle-même est enveloppée par deux glumelles, la glumelle inférieure ou lemma et la glumelle supérieure ou paléa. La réunion des deux glumes à l'extrémité supérieure de l'épillet forme le bec ou apex. La barbe ou arête est le prolongement de la nervure centrale de la glumelle inférieure. Les variétés barbues sont dites aristées, les variétés sans barbe sont dites mutiques.

La fleur est autogame, les organes mâles et femelles sont présents sur la même fleur. Les organes mâles comprennent six étamines (sur deux verticilles) portant chacune une anthère très développée. Les organes femelles sont constitués par l'ovaire surmonté de deux stigmates plumeux (Figure .2).

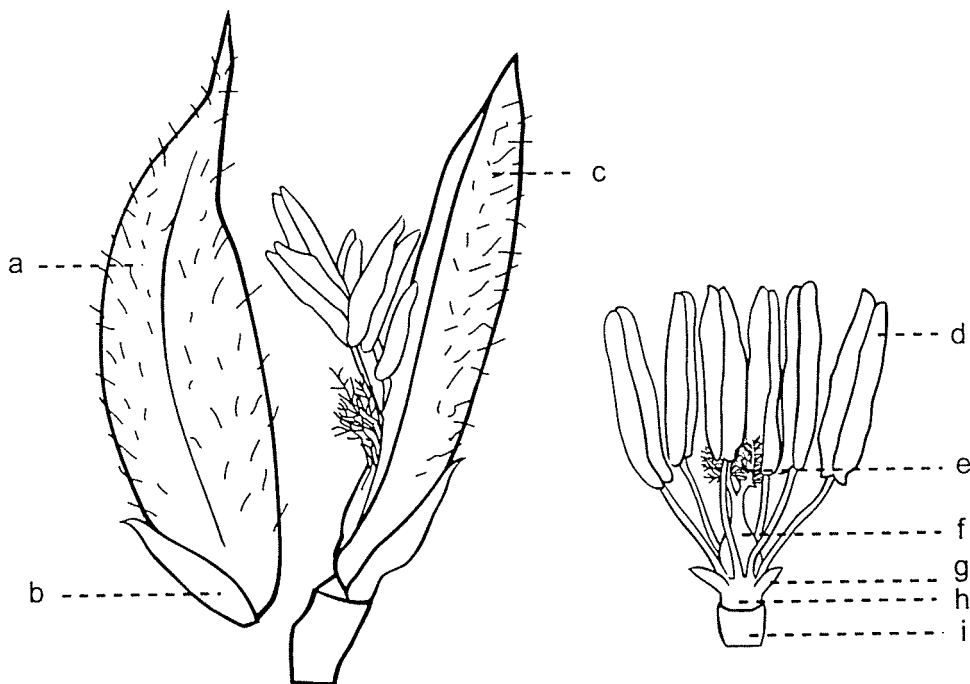


Figure .2 - Schéma d'un épillet de riz.

a: lemma (glumelle inférieure) - b : glumes - c : paléa (glumelle supérieure) - d : anthère : stigmates plumeux - f: ovaire - g : lodicules - h : placenta - i : pédicelle.

La floraison correspond à l'ouverture des épillets. Elle s'étend sur 5 à 9 jours pour une panicule. Elle est basipète, elle commence au sommet de la panicule et progresse vers le bas. La plante entière fleurit pendant trois semaines environ. Les fleurs sont cléistogames et l'autofécondation est de règle. La fécondation de l'ovule a lieu une heure et demie à trois heures après l'anthèse.

Le **fruit** est un caryopse comprimé latéralement et inclus dans les deux glumelles étroitement emboîtées (Figure 8.3). Sur la partie externe du caryopse, on trouve le tégument ou péricarpe qui est glabre ou pubescent et de coloration généralement blanc jaunâtre. Il peut cependant être noir en passant par toute la gamme de rouge, brun, violet, ... Il atteint sa dimension définitive après environ 28 jours.

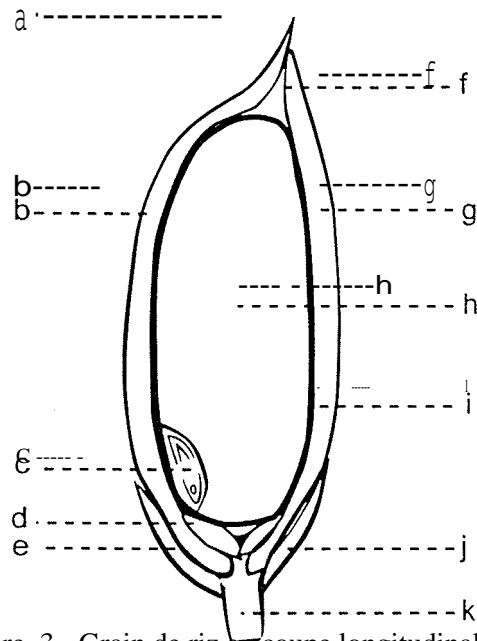


Figure .3 - Grain de riz en coupe longitudinale.

a : barbe - b : glumelle inférieure - c : embryon - d : lodicules - e : glume inférieure f: apex - g : glumelle supérieure - h : cellules amylières - i : péricarpe - j : glume supérieure - k : pédicelle.

Le grain, à maturité, débarrassé de ses glumes et glumelles (balles) comporte trois parties: le tégument, l'albumen et l'embryon.

Le tégument enveloppe complètement l'albumen et l'embryon. L'albumen est constitué par un tissu parenchymateux à cellules polygonales remplies d'amidon. Il peut être amidonneux (dur, translucide) ou glutineux (opaque, mat). L'embryon se trouve à la partie inférieure de l'albumen et est oblique par rapport à l'axe du caryopse.

- Autofécondation

Les fleurs sont cléistogames et l'autofécondation naturelle est de règle. Il peut exister une faible allogamie, mais elle n'a jamais été constatée au-delà de 2 m. La seule mesure d'isolement des lignées consiste donc à écarter suffisamment les lignées les unes des autres (2 m).

4 • Hybridations

Les hybridations comprennent une phase de castration et une phase d'hybridation proprement dite.

La castration peut se pratiquer suivant trois méthodes distinctes:

- une première méthode consiste à écarter les deux glumes en les pinçant ou en coupant le tiers supérieur avec de fins ciseaux. Ensuite, on extrait les anthères avec une pince brucelles;
- une deuxième méthode consiste à couper les glumelles au tiers supérieur et à aspirer les anthères au moyen d'un appareil à succion (pompe à vide branchée sur un petit réservoir de régulation de la dépression) ;
- une troisième méthode consiste en une émasculature par voie thermique, sans enlèvement des anthères. Les panicules sont immergées dans l'eau chaude (43°C pendant 5 à 7 min) .

L'hybridation proprement dite se pratique:

- soit en secouant des panicules non castrées au-dessus des panicules castrées,
- soit en frottant la fleur castrée avec des anthères maintenues par une pince brucelles,
- soit en frottant la fleur castrée avec un pinceau trempé dans le pollen.

.1.3. Critères généraux de sélection

Ils sont nombreux, nous citerons:

- l'augmentation de la productivité soit en augmentant la rusticité des plantes, soit au contraire, en augmentant leur pouvoir d'assimilation de fortes fumures azotées;
- l'induction des résistances aux maladies et aux ennemis;
- l'adaptation aux conditions de culture telles que le photopériodisme, les basses températures, la sécheresse, les terres salées, les lames d'eau irrégulières et trop profondes, les périodes de maturation, la résistance à la verse, etc. ;
- l'augmentation de la teneur en protéines tout en maintenant la qualité de celles-ci;
- l'amélioration du produit (grains vitreux ou farineux) suivant l'usage auquel il est destiné, couleur du péricarpe, qualités organoleptiques (comportement à la cuisson), etc.

• Critères utilisés par l'International Rice Research Institute (IRRI)

Le programme réalisé par l'IRRI (Los Banos, Philippines) intéresse pratiquement toutes les régions rizicoles du monde.

Au départ, le programme de recherche de cet institut a reposé sur le principe que seuls les hauts rendements pourront pallier la pénurie de riz dans le monde et que le seul moyen d'obtenir de hauts rendements consiste à utiliser des variétés présentant une forte réponse à l'azote.

Les chercheurs de l'IRRI sont partis de cette idée de base et c'est à partir de celle-ci qu'ils ont défini les caractéristiques que devront présenter les nouvelles variétés.

Caractères impératifs

- Une grande rapidité de croissance en début de cycle, ainsi qu'un tallage important afin d'être compétitif vis-à-vis des adventices.
- Feuilles relativement courtes et érigées afin de permettre une utilisation maximale de la luminosité.
- Pailles courtes et robustes qui présenteront une forte résistance à la verse, même lorsque les apports d'azote sont élevés.

Caractères associés

- Cycle végétatif compris entre 100 et 160 jours, variétés non sensibles à la photopériode ;
- Feuilles relativement épaisses et dures pour résister aux vents violents;
- Feuilles vieillissant lentement;
- Résistance à des températures moyennes et basses afin de pouvoir étendre l'aire de culture du riz, notamment aux régions d'altitude; -
- Résistance aux maladies les plus importantes;
- Résistance aux insectes les plus dommageables et en particulier aux "borers" ;
- Graines présentant une période de dormance suffisante;
- Graines présentant de bonnes qualités technologiques (aspect et dimension des grains) et organoleptiques (qualités culinaires et bonne digestibilité).

C'est en fonction de ces caractères que sont réalisés les choix des parents utilisés dans les croisements.

Les programmes d'amélioration variétale de l'IRRI ont à leur disposition une collection d'environ 120000 introductions de riz cultivés et sauvages qui sont conservées à l'International Rice Germplasm Center (IRGe), comme source de caractères utiles.

Le but principal de l'IRRI est de développer de nouveaux plants de riz à très haute productivité dépassant de 20 à 30 % les riz semi-nains généralement cultivés sur les terres irriguées. L'idéotype pour le riz irrigué devrait posséder une architecture modifiée. Il devrait produire moins de talles que chez les variétés

améliorées actuelles, mais chacun de ceux-ci devra porter une panicule. On ne sait pas encore combien de talles possédera le riz du futur, probablement de 1 à 6. La plupart des variétés modernes cultivées aujourd'hui produisent 20 à 25 talles par plant, dont environ 40 % ne portent pas de panicule.

L'idéotype de demain possédera un système racinaire vigoureux capable de puiser efficacement dans le sol plus d'éléments nutritifs. La nouvelle plante de riz aura une hauteur de 90 à 100 cm et pourra être récoltée **110 à 130** jours après le semis. Ses grains plus lourds auront une meilleure qualité d'usinage que ceux des variétés actuelles. Il produira également moins de grains brisés. Les semences germeront mieux et produiront des semenceaux plus vigoureux.

Les progrès seront réalisés en réduisant le nombre de talles et en incorporant des résistances aux maladies par croisement et sélection.

La variété à très haute productivité du futur n'aurait pas d'aptitude à taller et devrait être semée en place à très forte densité. Comme pour le maïs et le sorgho, un riz à tige unique est possible .

. 1.4. Méthodes d'amélioration

L'amélioration du riz peut être obtenue par des méthodes classiques: sélection, introduction de variétés étrangères, hybridations, mutations provoquées ou naturelles.

• Sélection

Elle peut s'opérer suivant deux modèles:

- **la sélection massale** consiste en une épuration permettant d'éliminer de la population d'origine les individus indésirables et d'isoler des types intéressants présentant une homogénéité suffisante pour le cultivateur. La sélection massale chez le riz est intéressante et rapide, car elle s'applique à une plante hautement homozygote;
- **la sélection généalogique** chez le riz consiste essentiellement à isoler dans une population une ou plusieurs lignées pures présentant des caractéristiques supérieures. Ces lignées pures sont issues de souches isolées dans la population d'origine. Les avantages de ce type de sélection sont importants, car les descendance de ces lignées sont stables et homogènes.

• Introduction de variétés étrangères

L'introduction de variétés étrangères permet généralement d'acquérir des caractères nouveaux non présents dans les populations locales. Rappelons cependant que les variétés étrangères sont rarement adaptées à leur nouveau

milieu de culture. Il ũlut, lorsque c'est possible, introduire des variétés venant de milieux les plus semblables possibles à la région d'introduction (même régime photopériodique, même régime thermique, même régime pluviométrique, même régime hydraulique, ...).

L'introduction de ces variétés étrangères peut cependant n'avoir d'autre but que de disposer d'un matériel végétal élargi pouvant servir de géniteurs dans des travaux d'hybridation.

• Hybridation

Il s'agit de réunir, dans une même variété, des caractères existant dans des variétés distinctes. Le choix des géniteurs se fait en fonction des qualités complémentaires qu'ils présentent.

La deuxième génération qui suit l'hybridation (F₂) manifeste une disjonction importante des caractères. Un choix important de souches y est généralement réalisé, celles-ci étant, par après, suivies en sélection généalogique pendant un certain nombre d'années, jusqu'à l'obtention de lignées purifiées présentant les caractères désirés.

La plupart des variétés semi-naines proviennent de croisements simples. Des croisements multiples et une sélection de type récurrent sont utilisés de plus en plus largement pour combiner diverses sources de résistance à différents ravageurs et maladies ainsi que pour relever la qualité du grain.

Tous ces travaux exigent de disposer d'une grande diversité génétique initiale. C'est la raison pour laquelle l'IRRI s'est efforcé de collecter l'ensemble de tous les riz existants. Des milliers d'échantillons de graines ont été rassemblés (banque de gènes). C'est leur évaluation et leur utilisation qui sont à la base de l'amélioration future d'*O. sativa*.

• Un exemple d'amélioration de riz sec avant la création de l'IRRI : INEAC 1933-1960

Le riz avait pénétré au Congo jusqu'au centre de la forêt dense sempervirente, à partir de l'Est africain. Les semences de riz s'étaient dispersées progressivement dans la zone forestière congolaise à la faveur de techniques culturales rudimentaires et dans des conditions aléatoires de conservation et de protection. Les mélanges n'étaient autre chose que des mélanges hétérogènes de biotypes les plus divers, qui ne possédaient rien de commun entre eux, si ce n'est leur rusticité, l'opacité quasi totale de leur albumen, la coloration rougeâtre de leurs caryopses et, par dessus tout, leur parfaite adéquation aux goûts des ruraux.

En vingt ans, l'INEAC a transformé, par voie génétique, le mélange de semences disparates en un produit garanti, capable tout à la fois de répondre favorablement à l'intensification des autres facteurs de la production rizicole, de satisfaire les exigences des nutritionnistes, des industriels, des commerçants et, finalement de conquérir une place privilégiée sur les marchés nationaux et internationaux de céréales.

De 1933 à 1960, l'amélioration du riz s'est poursuivie selon deux programmes de sélection aux objectifs complémentaires (Figure .4).

Un premier programme est axé, dès 1933, sur l'amélioration des riz locaux qui sont de la catégorie moyens/demi-longs. Ce programme se termine en 1955 par la diffusion de la variété R66 provenant du croisement de la variété indienne T9 avec des lignées épurées d'origine locale. Un plan national de diffusion de cette variété démarre en 1956 selon un schéma intéressant l'ensemble de la zone rizicole. La variété R66 peut produire en station jusqu'à quatre tonnes, voire même quatre tonnes et demie, lorsque l'intensité et la fréquence des pluies sont normales au moment du tallage et de l'épiaison.

Le remplacement des vieilles semences par celles de la variété R66 a augmenté la productivité de 50 à 80 % et le revenu net des riziculteurs dans une proportion équivalente.

La vitrosité du grain s'est considérablement améliorée surtout pour le R66. La translucidité de l'albumen des caryopses constituait pour R66 une garantie additionnelle de compétitivité.

Un second programme démarre à partir de 1951 avec pour but de modifier la constitution génétique des variétés locales sélectionnées et de créer ainsi de nouvelles variétés dont les types de grains se classent dans les catégories commerciales des riz à grains longs. Le programme comprend:

- la création d'une variété stable, homogène, plastique et capable de remplacer avantageusement les vieilles semences cultivées;
- l'amélioration des caractéristiques nutritionnelles et culinaires pour répondre aux exigences imposées par les consommateurs nationaux et, ultérieurement, aux préférences du commerce international;
- l'amélioration de toutes les caractéristiques agronomiques liées à un rendement élevé;
- l'amélioration du rendement industriel à l'usage: décorticage du riz paddy, blanchissage du riz cargo, criblage du tout-venant;
- l'amélioration de la valeur commerciale des produits traités par l'élimination des caryopses de couleur rouge et par l'augmentation de la translucidité de l'albumen.

RIZ DE MONTAGNE

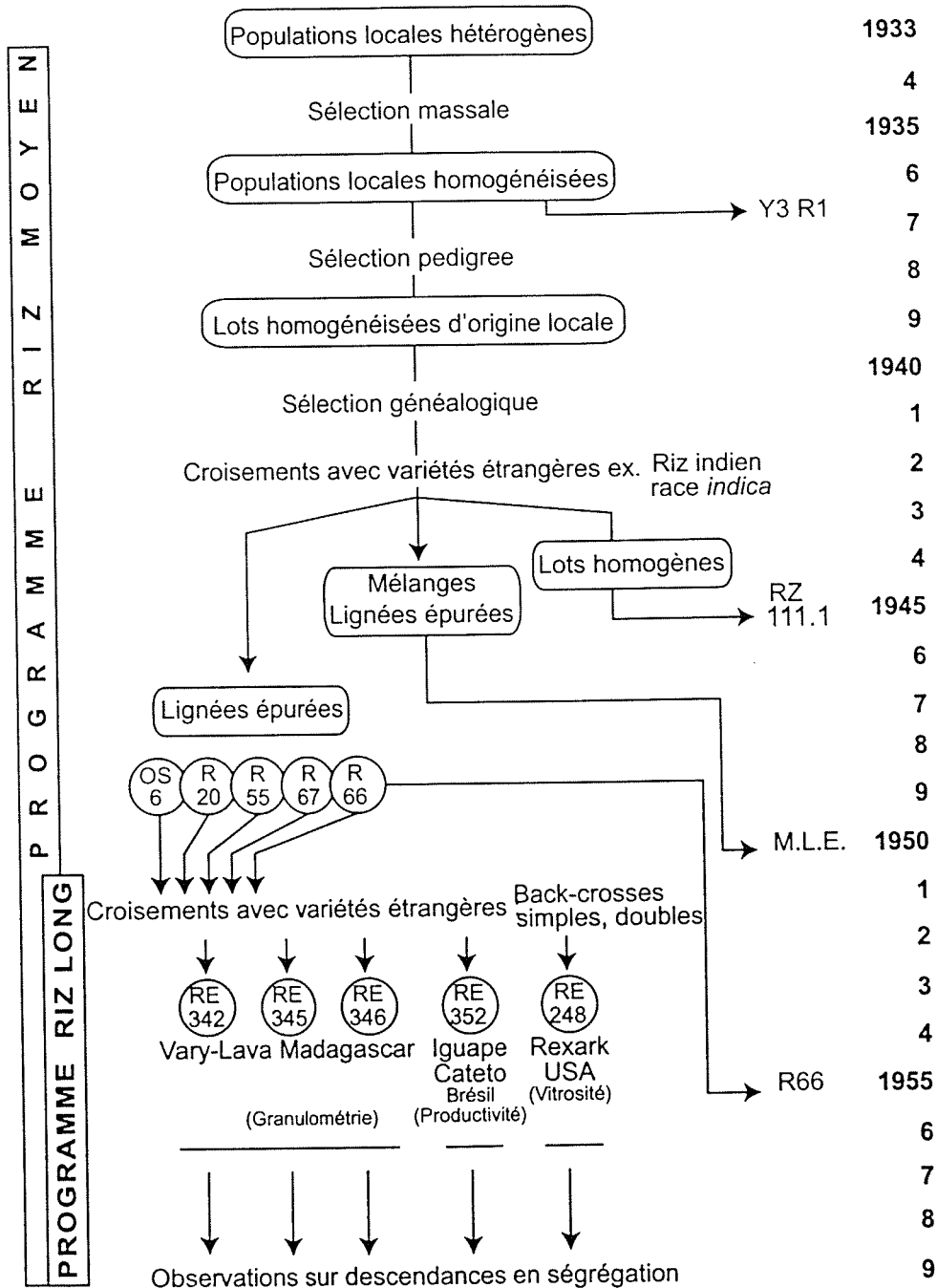


Figure .4 — Programmes d'amélioration du riz de l'INEAC de 1933 à 1960.

1

2

3

4

1955

6

Observations sur descendances en ségrégation

7

Figure .4 - Programmes d'amélioration du riz de l'INEAC de 1933 à 1960.

8

9

La sélection des riz à grains longs était basée sur des hybridations artificielles entre lignées épurées localement (dont la variété R66) et des variétés étrangères (Iguape Cateto, Rexark, ainsi que des types malgaches, telle Vary-Lava).

Les nouvelles lignées sélectionnées montrent une productivité égale ou supérieure à celle de R66 et leurs caractéristiques granulométriques se classent parmi les meilleurs riz longs, du type Vary-Lava malgache.

- Création et développement des recherches à l'**IRRI** depuis 1960

1960 : création de l'IRRI avec le support des Fondations Ford et Rockefeller ainsi que du gouvernement des Philippines.

1961 : les recherches débutent à Los Banos (Philippines). Les objectifs de l'amélioration variétale sont de développer des variétés de riz court répondant bien à l'apport d'engrais, non sensibles à la photopériode, résistant aux maladies et ennemis les plus importants. La création d'une collection de riz capable de fournir des qualités nouvelles aux riz améliorés pour les régions tropicales et subtropicales fut aussi une priorité.

1962: ouverture de la bibliothèque. Rassemblement de la littérature mondiale sur le riz. Les premiers étudiants arrivent pour assister à des programmes de formation.

1963 : développement des hybridations entre variétés de riz. Premier symposium réunissant des experts en génétique et cytogénétique du monde entier.

1964: deuxième génération des croisements Peta x Dee-geo-wao-gee Ségrégation 3-1 pour le caractère de nanification indiquant un simple gène récessif. La variété Peta est une haute mais vigoureuse variété indonésienne tandis que la variété Dee-geo-wao-gee est un riz chinois à paille rigide et semi-nain. Étude de caractères génétiques et de la réponse à l'azote. Études de base sur la physiologie du riz et réponse à la lumière et à la température sous les tropiques.

1965 : la variété IR8-188-3 est testée dans des essais réalisés dans cinq pays différents. La production moyenne dépasse 6t/ha. Des programmes extérieurs démarrent en collaboration avec des scientifiques de la Fondation Ford en poste au Bangladesh.

1966 : la variété IR8 produit 8,2 t/ha à l'IRRI en saison sèche. Elle est mise à la disposition des autres améliorateurs. Ce nouveau type de plant double le potentiel de productivité des riz irrigués tropicaux. Des semences de lignées hybrides de riz créées à l'IRRI sont distribuées dans le monde entier pour évaluation. Un travail de coopération démarre au Pakistan et en Thaïlande.

1967 : la variété IR5 est lancée. Elle s'adapte à des eaux plus profondes que la variété IR8. Elle résiste mieux à la sécheresse et présente une meilleure résistance à la bactériose et au virus du tungro. Des travaux de coopération débutent aux Indes, au Sri Lanka et en Indonésie.

1968: on estime à 10 millions d'hectares la culture de la variété IR8 dans le monde. La production de riz dans les tropiques commence à augmenter. Les Philippines, importateur traditionnel de riz, annoncent qu'elles possèdent du riz à exporter. Plus de 1 500 croisements destinés à incorporer des caractères utiles dans le riz cultivé sont réalisés et plus de 40 000 lignées sont testées.

1969 : la variété IR20 présente une résistance à quatre insectes et maladies. La variété IR22 améliore la qualité du grain et relève les qualités en meunerie. Dans le monde entier, 15 variétés de riz originaires de l'IRRI ont été testées par des programmes nationaux. La collection des ressources génétiques de l'IRRI totalise 12880 introductions. Plus de 500 scientifiques et techniciens en provenance de 25 pays différents ont été formés à l'IRRI.

1970 : des études physiologiques s'intéressent à l'influence de l'indice foliaire sur la productivité.

1971 : la variété IR20 montre une large adaptation aux sols défavorables. La variété IR24 est résistante aux jassides, vecteurs du virus du tungro, et autres ennemis.

1972 : le riz pluvial produit jusque 4t/ha en combinant l'utilisation de variétés à haut rendement avec des engrais appropriés et un bon contrôle phytosanitaire.

1973 : la variété IR26 possède de bonnes qualités de graines et est résistante à sept ennemis différents. Le programme d'évaluation génétique et d'utilisation poursuit son travail sur les caractéristiques agronomiques, les résistances aux maladies et aux insectes, la qualité du grain, la résistance aux stress hydriques. Les riz modernes semi-nains occupent 20 % des superficies dans le Sud et le Sud-Est asiatique.

1975 : la variété IR32 est utilisable en culture pure dans les régions pluvieuses. La variété IR34 est utilisable dans les régions où les cultivateurs préfèrent des cultivars de taille intermédiaire. Incorporation de nouveaux gènes de résistance dans les lignées améliorées.

1976 : la variété IR36 est résistante à neuf ennemis et tolérante à sept types de sols défavorables ainsi qu'à la sécheresse. Les programmes nationaux utilisent pour la première fois les lignées IR dans des croisements locaux. Étude de l'hérédité de la résistance au flétrissement bactérien; elle est complexe: parfois un simple gène dominant, parfois un simple gène récessif, parfois les deux.

1977 : amplification de la diversité génétique disponible pour les cultures des riz irrigués, des riz en eaux profondes et moyennes et des riz en culture pluviale. La variété IR42 fournit des meilleures récoltes dans les mauvais sols.

1978 : certaines lignées améliorées présentent des durées de végétation inférieures à 90 jours. Les lignées améliorées élites consolident leur résistance aux principales maladies et ennemis des variétés traditionnelles. Début d'une collaboration avec la Chine, principal producteur de riz.

1979 : recherches sur la stérilité mâle chez le riz et les mécanismes des croisements éloignés. La collection comprend 47 743 introductions. Près de 30 000 échantillons de graines ont été distribués.

1980 : lignées améliorées tolérantes à des excès ou à des déficits en eau. Certaines de ces lignées montrent une bonne adaptation aux sols médiocres et à des températures extrêmes. De nouvelles techniques de culture de tissus et de cellules rendent possibles des progrès rapides dans la recherche des lignées améliorées présentant des résistances et des tolérances intéressantes.

1981 : l'Indonésie produit désormais plus de riz qu'elle n'en a besoin, malgré une consommation supérieure par habitant. Des semences des variétés traditionnelles de riz Khmer, préservées dans les collections de l'IRRI, retournent au Cambodge (la guerre ayant détruit la majorité des riz du pays).

1982 : environ II millions d'hectares du Sud-Est asiatique sont emblavés en IR36. La variété IR56 est destinée à remplacer l'IR36 aux Philippines. Les recherches sur la résistance génique à une nouvelle race du virus "grassy stunt" sont en bonne voie.

1983 : des expériences multidisciplinaires recherchent les voies qui permettront d'éviter les diminutions de productivité dans les variétés améliorées. Le Centre international des ressources phytogénétiques du riz gère la plus grande collection du monde.

1984 : l'acquisition d'un microscope électronique permet l'identification de différentes particules de virus responsables du tungro. De nouvelles techniques permettent le transfert de gènes intéressants entre espèces sauvages et cultivées.

1985 : la variété IR64 est le premier cultivar IR possédant un grain agréable au goût associé à une forte productivité et à la résistance à de multiples parasites.

1986 : un travail intensif en génétique doit amener les améliorateurs à une meilleure exploitation des ressources génétiques. Une méthode simplifiée est

développée, permettant une classification intraspécifique fiable, rapide et économique des cultivars de riz grâce à l'utilisation de l'analyse isoenzymatique.

1987 : neuf espèces de riz sauvages ont été collectées en Asie grâce à un effort de large collaboration. Identification de facteurs contribuant au développement de graines de forte densité. L'application des biotechnologies accélère les études génétiques et élargit les possibilités d'hybridations .

1988 : création de nouveaux types de plantes destinés à relever le futur potentiel de productivité: taille courte à moyenne, longévité moyenne à longue, faible tallage, bonne vigueur de croissance dans le jeune âge, forte capacité d'utilisation de l'azote, développement limité du feuillage, fortes concentrations d'azote dans les feuilles, stockage élevé de l'azote dans les tiges et les gaines foliaires, rapide sénescence verticale et sénescence retardée de la feuille paniculaire. Nombreux épis par panicule. La stratégie de l'IRRI pour l'an 2000 commence à se développer.

1989: plus de 900 variétés apparentées aux variétés IR sont diffusées chez les cultivateurs de 38 pays différents. La collection comprend 85 268 introductions.

Depuis 1990, à l'IRRI, au CIAT, à l'ADRAO, on assiste à des applications de plus en plus fréquentes des nouvelles technologies dans l'amélioration du riz parmi lesquelles on peut citer:

- les techniques de sauvetage d'embryons dans les cas de transfert de gènes de riz sauvages dans des riz cultivés;
- la culture d'anthères dans la stabilisation rapide de nouvelles lignées;
- l'utilisation de marqueurs moléculaires pour accélérer les programmes d'amélioration en utilisant des marqueurs génétiques plutôt que la sélection phénotypique ;
- les empreintes de DNA pour l'identification des variations génétiques dans les maladies et ennemis;
- l'introduction de nouveaux gènes dans le riz par des méthodes diverses (*Agrobacterium*, protoplastes, etc.) ;
- sans oublier la production de nouveaux hybrides de riz dont la productivité pourrait dépasser de 20 % les riz autogames. Les recherches passent par la création de lignées de riz à stérilité mâle afin de pouvoir créer facilement les hybrides désirés.

. 1.5. Méthodes transgéniques appliquées au riz

Les premiers rapports sur des riz transgéniques ont été publiés en 1988. Ces travaux avaient pour but de transformer des riz de type *japonica* par un transfert direct de gènes à partir de protoplastes par l'intermédiaire de polyéthylène-glycol ou d'électroporation.

Deux ans plus tard, en 1990, des publications rapportent la transformation d'un riz de type *indica* par la même méthode.

Les protoplastes étaient isolés à partir de cellules embryogéniques en suspension provenant de cals se développant à partir de cellules du scutellum d'embryons de riz. Les étapes les plus récentes dans le domaine de la transformation du riz sont les protocoles proposés à partir d'*Agrobacterium tumefaciens* comme intermédiaire dans la transformation de scutellum provenant de cals. Les protocoles sont simples et permettent la production efficace de plantes transgéniques à partir de variétés japonica et indica.

Aujourd'hui, le bombardement de particules et la transformation de scutellum dérivés de cellules par l'intermédiaire d'*Agrobacterium tumefaciens* sont deux méthodes très efficaces et reproductibles pour la production d'un grand nombre de lignées transgéniques.

Un peu partout dans le monde, des laboratoires de génie génétique tentent d'améliorer la production et la qualité du riz, à tous les niveaux .

Des travaux importants se rapportent à l'augmentation de la production, d'autres s'attaquent à la lutte contre les maladies bactériennes, fongiques et virales. D'autres encore s'attaquent aux ennemis de la plante (insectes et nématodes). La lutte contre les mauvaises herbes n'est pas oubliée. D'autres travaux tentent d'améliorer les qualités du grain. Ils s'attaquent entre autre, à la déficience du riz en vitamine A, à sa déficience en lysine. Ils veulent corriger la nature de l'amidon de son endosperme, réduire les niveaux de protéines allergènes contenues dans les graines. Le riz dans le monde doit voir sa production augmenter en quantité et en qualité. Il est indispensable pour la survie des populations qui dépendent de la "civilisation du riz" de voir augmenter la productivité de la plante avec peu d'eau, moins de travail et moins de terres. La technologie génique, comprenant l'analyse du génome, l'amélioration assistée par marqueur, le génie génétique, peut y contribuer.

. 1.6. Multiplication et diffusion des nouvelles sélections

Les semences sélectionnées sont, en majorité, des lignées pures. Cela signifie qu'il est indispensable de n'utiliser comme semences qu'un paddy très homogène correspondant exactement aux normes de la variété choisie. Cette homogénéité de la semence s'exprime par le **taux de pureté** qui ne doit pas être inférieur à 98 %.

Le premier stade de la multiplication consiste à obtenir une variété pure perpétuée par sélection généalogique. Il s'agit, en général, d'un ou de quelques pieds-mères qui sont ressemés chaque année et dont la production permet

d'obtenir une petite quantité de semences pedigree dont la pureté variétale est absolue. Ces semences de première multiplication sont appelées, en terminologie internationale, semences de base.

C'est à partir de ce lot initial, de faible quantité, qu'on procède à une nouvelle multiplication qui permettra d'obtenir un tonnage suffisant pour une culture à grande échelle. On obtient ainsi des semences d'origine appelées également, suivant la terminologie internationale, semences de base. Les semences sont une fois encore multipliées afin d'obtenir des semences destinées à la grande culture ou semences certifiées.

Toutes ces semences doivent être conditionnées de la manière suivante après avoir été battues et vannées, elles sont rentrées dans des locaux parfaitement étanches à l'eau, propres, dératés et désinsectés.

On procède alors, avec des appareils trieurs spécialement conçus pour le riz, au dépoussiérage, à l'élimination des grains vides et au calibrage des grains. Ce travail de nettoyage et de calibrage élimine les déchets correspondant à environ 20 % du poids, soit 5 % de poussière et grains vides et 15 % de grains cassés ou mal formés qui sont récupérables pour la rizerie.

Après calibrage, la semence est désinsectée. Elle est ensuite ensachée. Les sacs destinés à la semence sont toujours neufs. On en poudre l'intérieur avec un insecticide de contact.

Les quantités de semences à produire doivent être évaluées à partir des besoins des paysans producteurs de paddy, compte tenu des superficies et des quantités nécessaires pour maintenir et renouveler les stocks de sécurité. Deux éventualités peuvent cependant être envisagées:

- couvrir chaque année la totalité des besoins en semences certifiées des agriculteurs producteurs de paddy;
- ne fournir chaque année à ces agriculteurs qu'une petite quantité de semences certifiées qu'ils cultiveront parallèlement à leur champ de production de paddy commercial et qui leur fournira une semence-fermier. La quantité à produire servira à ensemercer le champ de paddy commercial l'année suivante. Cette semence-fermier n'est soumise à aucun type de contrôle.

La production de riz hybrides, principalement en Chine, nécessite la création préalable de riz à stérilité mâle afin que les hybrides puissent être obtenus facilement.

6 3.2. Le maïs

Zea mays L.

2n = 20

2.1. Botanique

Le maïs appartient à la famille des *Poaceae*, sous-famille des *Andropogonoideae*, tribu des *Maydeae* dont les genres sont caractérisés par des épillets unisexués, soit dans des inflorescences différentes, soit réunis dans une même inflorescence.

La tribu des *Maydeae* comprend huit genres, dont cinq asiatiques (*Coix*, *Polyloea*, *Scleraehne*, *Chionaehne*, *Trilobaehne*) de faible importance économique et trois américaines (*Zea*, *Tripsaeum* et les téosintes, *Zea* sauvages ou *Euclaena*).

Le genre *Zea* ne comprend qu'une seule espèce, *Zea mays* L. Elle est très riche de variétés cultivées qui possèdent toutes $2n = 20$ chromosomes. Les variétés sont généralement réparties en groupes d'après certaines de leurs caractéristiques: précocité, couleur du grain, texture du grain, etc.

7 • Origine et évolution de l'espèce

Nulle part dans le monde, il n'existe un maïs sauvage. Des nombreuses hypothèses émises sur l'origine du maïs, seules deux semblent pouvoir être retenues: la première proposant soit que le téosinte actuel serait l'ancêtre sauvage du maïs, soit qu'un téosinte primitif serait à la fois l'ancêtre du maïs et du téosinte, la seconde proposant qu'une forme disparue de maïs vêtu (pod corn) soit l'ancêtre du maïs moderne avec le téosinte comme forme mutante de ce maïs vêtu. Aujourd'hui, on considère la première hypothèse comme la plus probable car la plus solidement étayée, mais malgré tout, le doute subsiste.

Quant à l'évolution de la plante, elle semble avoir commencé il y a plus ou moins 7000 à 8000 ans. De nombreux échantillons récoltés qui datent de 5000 à 3000 avant 1-C., permettent de retracer cette évolution. Elle porte particulièrement sur la taille de l'épi et de la graine. Rappelons que les premiers épis trouvés mesuraient à peine plus de deux centimètres de longueur et que le volume d'une graine ne dépassait pas celui d'un grain de riz.

Pendant la période qui va de 5000 à 2000 avant 1-C., la culture du maïs a véritablement explosé en Amérique centrale et dans le même temps, elle s'est dispersée sur l'ensemble du continent américain. Cette culture a joué un rôle fondamental dans la naissance puis dans l'essor des civilisations précolombiennes.

.2.2. Système de reproduction

- Inflorescences et fleurs

Le maïs est une plante monoïque dicline possédant deux sortes d'inflorescences. Les fleurs mâles sont groupées sur une panicule terminale, les fleurs femelles sont rassemblées sur un ou plusieurs épis situés à l'extrémité de courtes ramifications placées à l'aisselle des feuilles de la partie inférieure de la plante (Figure .5).

L'inflorescence mâle (Figure .6) est une panicule plus ou moins ramifiée sur laquelle s'insèrent, par paires, des épillets biflores. Chaque paire d'épillets comprend un épillet sessile et un épillet pédicellé plus âgé. Les deux fleurs mâles de l'épillet, entièrement enveloppées par deux glumes ciliées, sont chacune constituées de deux glumelles, trois étamines et un pistil avorté.

L'inflorescence femelle (Figure .5) est un épi porté par un pédoncule et enveloppé par des spathes. La rafle représente la partie axiale, renflée, sur laquelle s'insèrent, par paires, des épillets biflores (Figure .7). Cet épi présente habituellement 12 à 16 rangées de graines. L'épillet à glumes et glumelles très courtes renferme deux fleurs femelles aux étamines avortées. La fleur supérieure, plus âgée, est en général seule fertile: son gynécée comprend un ovaire uniloculaire

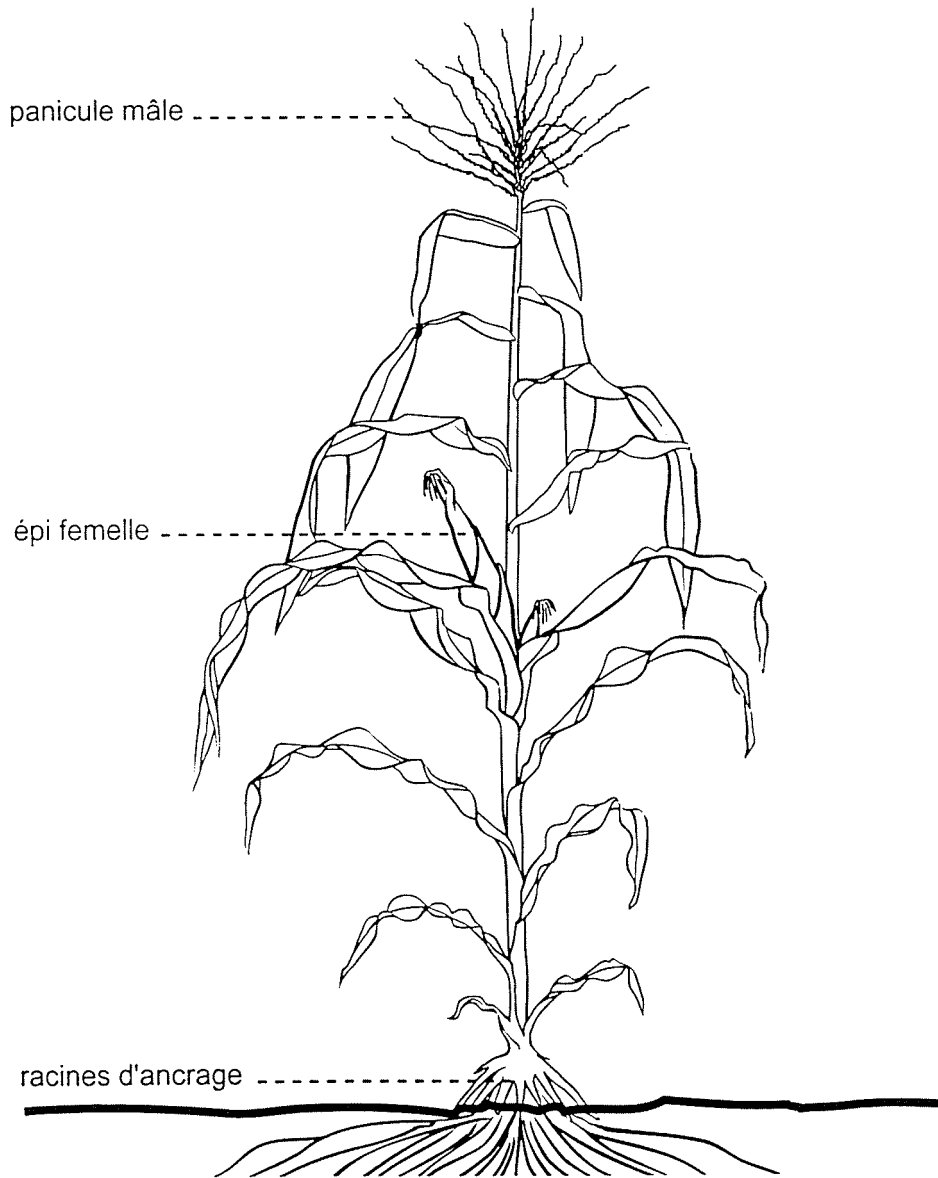


Figure 5 - schéma d'un plant de maïs.

surmonté d'un style très long (10 à 30 cm), réceptif sur toute sa longueur, dénommé "soie". À la floraison, les soies dépassent notablement l'extrémité des spathes. L'inflorescence mâle se dégage progressivement de la gaine formée par les feuilles supérieures jusqu'au moment où le dernier nœud apparaît. La panicule est alors entièrement épanouie et ce stade précède d'un à deux jours le début de l'anthèse. Le rythme de floraison des épillets est basipète, les premiers épillets s'ouvrant au sommet du racème terminal. La floraison d'une panicule mâle dure en moyenne de huit à douze jours, le début de l'anthèse précédant de peu (un à six jours) l'apparition des styles chez la première inflorescence femelle.

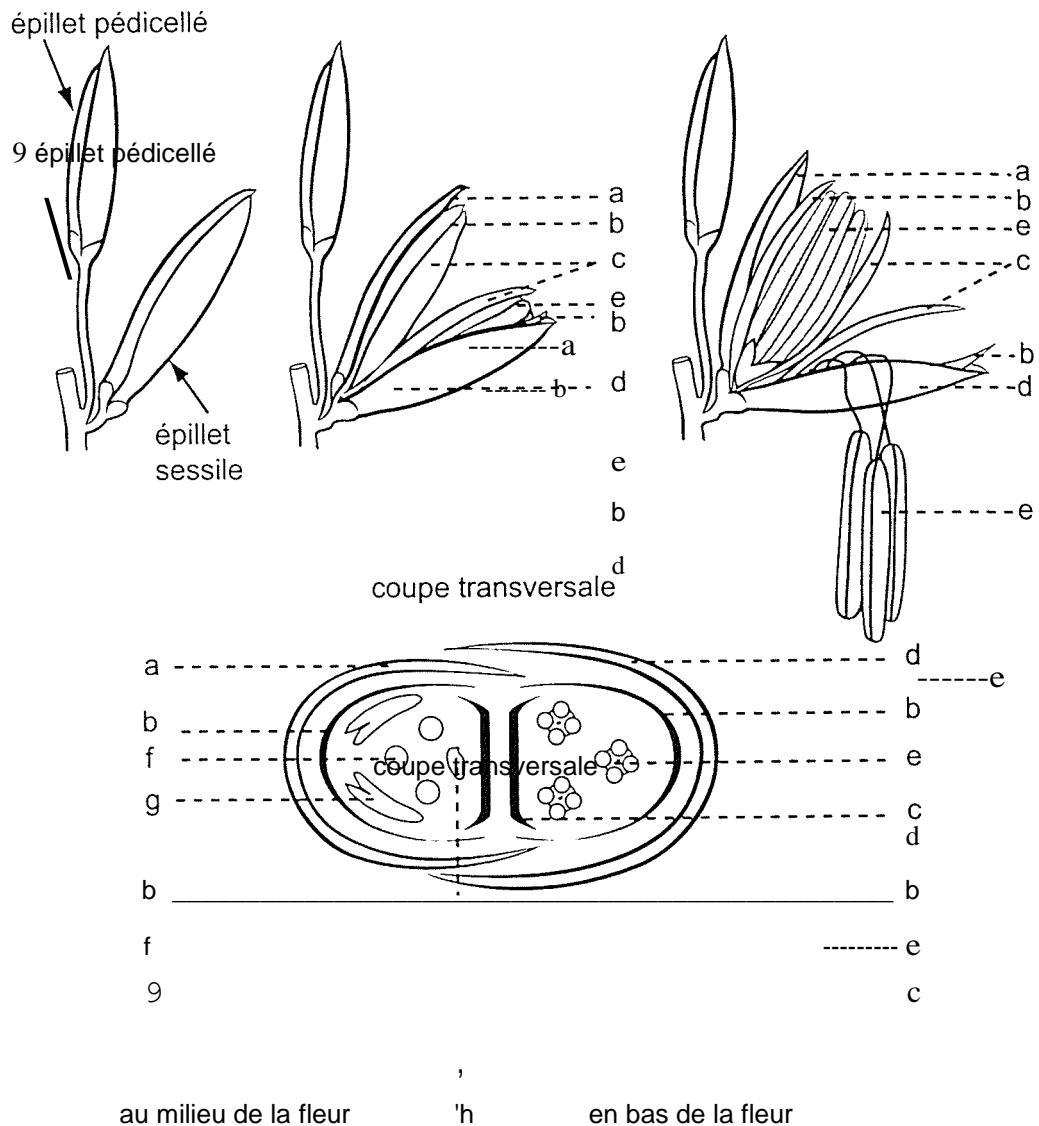


Figure .6 - Fleurs mâles chez le maïs.

a : glume supérieure - b : lemma - c : paléa - d : glume inférieure - e : anthères f: filet des étamines - g : lodicules - h : gynécée avorté.

Le rythme de floraison des épillets femelles dans l'inflorescence est acropète; contrairement à ce qui se passe dans la panicule mâle. Ce sont les styles de la base qui apparaissent et sont fécondés les premiers; la floraison continue ensuite de la base vers le sommet du spadice. L'ordre de floraison des diverses inflorescences femelles sur la plante est, par contre, basipète : l'inflorescence supérieure fleurit la première, puis celle du nœud immédiatement inférieur et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les inflorescences aient épanoui leurs styles.

- Mode de fécondation

Bien que la plante soit autofertile, la fécondation est allogame et exclusivement anémophile. Le taux de fécondation croisée est d'au moins 95 %

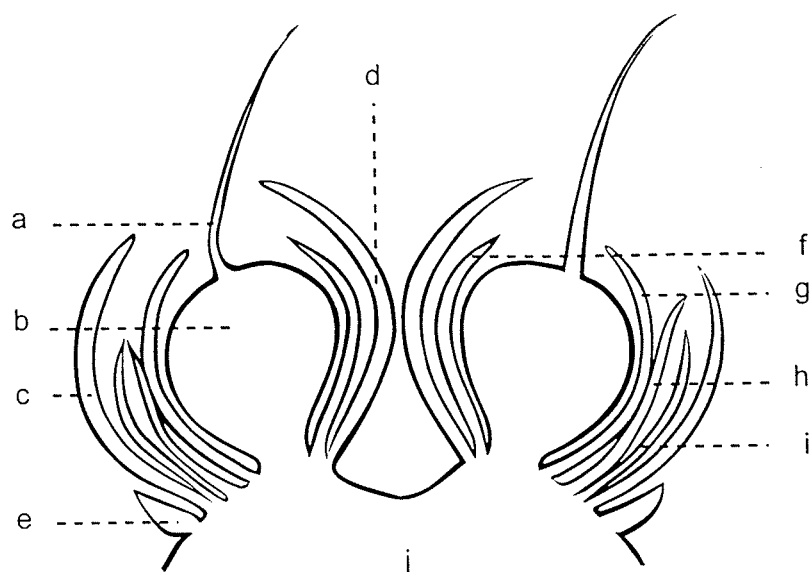


Figure .7 - Paire d'épillets (constituée de deux épillets biflores).

a : style (soie) - b : ovaire - c : glume inférieure - d : glume supérieure - e : bractée f: lemma de la fleur fertile - g : paléa de la fleur fertile - h : paléa de la fleur stérile - i : lemma de la fleur stérile - j : rafle.

en raison de la séparation des sexes dans l'espace (monoécie) et d'une maturité plus précoce des fleurs mâles (protandrie).

Dès que l'ovule a été fécondé, le style cesse de croître et se dessèche. Protégé de tout contact avec le pollen, il peut atteindre une longueur considérable et rester turgescent une quinzaine de jours. La durée de réceptivité des fleurs femelles ne semble pas dépasser le douzième jour. Quant à la viabilité du pollen de maïs, elle est extrêmement réduite. Dans les conditions les plus favorables, il reste viable durant 18 à 24 heures, mais il est tué rapidement s'il est soumis à la chaleur ou à la dessiccation. Il semble que seule la conservation au froid (-4°C) permette de prolonger efficacement, dans une certaine mesure cette viabilité (jusqu'à cinq jours). Cette méthode de conservation peut être utilisée pour pratiquer des hybridations entre lignées dont les floraisons ne coïncident pas, mais à la condition toutefois que l'intervalle soit assez court.

L'anthèse débute entre 7h et 7h30 du matin, elle se termine généralement vers 10h30. Si le vent est violent, elle se termine plus tôt, si le temps est calme, elle peut se prolonger davantage. Comme la plupart des plantes à fécondation anémophile, le maïs libère des quantités étonnantes de pollen. Durant les heures d'anthèse, l'air au-dessus des champs de maïs est chargé de nuages de pollen. Cela signifie qu'il faut prendre des précautions rigoureuses lorsqu'on désire pratiquer des fécondations contrôlées. Des fécondations à partir de pollens provenant de plantes très éloignées sont possibles.

- Importance de l'autofécondation naturelle

L'allogamie du maïs n'est pas absolue. Les pourcentages d'autofécondation naturelle sont variables et se situent autour de 5 %. Cela signifie que dans une population de maïs, si les autofécondations ne sont pas dommageables au cours de la première génération de multiplication, elles peuvent le devenir si elles se reproduisent plusieurs fois. Il y a donc lieu de les éviter en provoquant des hybridations totales. Dans ce but, il peut être intéressant, lorsqu'on multiplie des populations de maïs, d'émasculer une ligne sur deux, deux lignes sur trois, trois lignes sur quatre, parfois même quatre lignes sur cinq, et ne distribuer aux cultivateurs que les graines récoltées sur les lignes émasculées.

- Hybridation naturelle entre parcelles éloignées

Le pollen de maïs peut être transporté par le vent à grande distance. Cela rend l'isolement de cette céréale difficile. Pour conserver des noyaux purs, il semble cependant qu'une distance de 300 m entre parcelles isolées permet d'assurer une sécurité suffisante.

- Pollinisation contrôlée

Pratiquement, la fécondation contrôlée est intéressante car elle permet de conserver côte à côte des variétés diverses, sans que l'on soit obligé de les disperser en de nombreuses parcelles isolées. Elle permet également, dans des buts d'amélioration, d'opérer des autofécondations ou des hybridations dirigées. La technique de la pollinisation contrôlée est la suivante:

- _ l'inflorescence femelle est recouverte d'un sachet de papier parcheminé, ouvert au sommet. Cette ouverture, par où s'effectue la pollinisation, est fermée par un pli retenu par une attache;
- _ l'inflorescence mâle est protégée la veille ou l'avant-veille de la pollinisation par un sachet du même papier parcheminé. La pollinisation s'effectue, en une seule opération, le troisième jour qui suit l'apparition des styles; elle peut néanmoins être différée jusqu'au septième jour, sans que le rendement en graines ne soit diminué. La proportion d'hybridations accidentelles obtenue par ce procédé est de l'ordre de 1 %.

- Le grain

Comme chez toutes les *Poaceae*, le grain est un caryopse de forme variable mais de structure classique .

L'embryon blanchâtre, en forme d'écusson ogival, se trouve situé sur la face ventrale, en dessous de l'insertion du style (Figure 8.8). Il représente, en poids,

10 à 13 % du grain entier. Le reste du grain est composé par de l'albumen de couleur variable (blanc, jaune, rouge, bleu, ...), dont la composition est déterminée par la nature génétique des parents mâle et femelle. En effet, n'oublions pas que le noyau secondaire du tube pollinique s'unit aux deux noyaux libres du sac embryonnaire, point de départ de la formation de l'albumen triploïde (Figure 8.9). C'est le phénomène de xénie, facilement décelable si, comme chez le maïs, les téguments sont incolores.

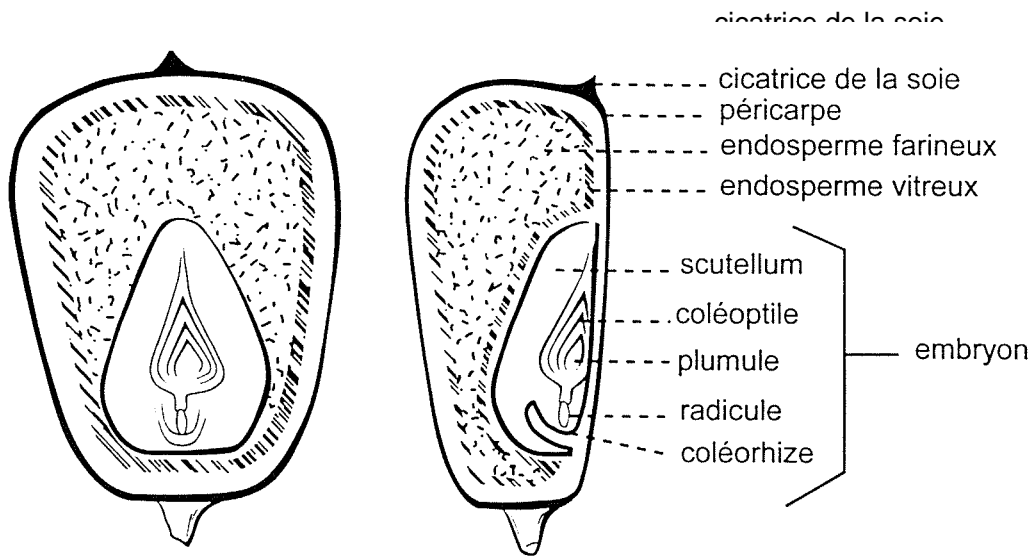


Figure .8 — Grain de maïs en coupe.

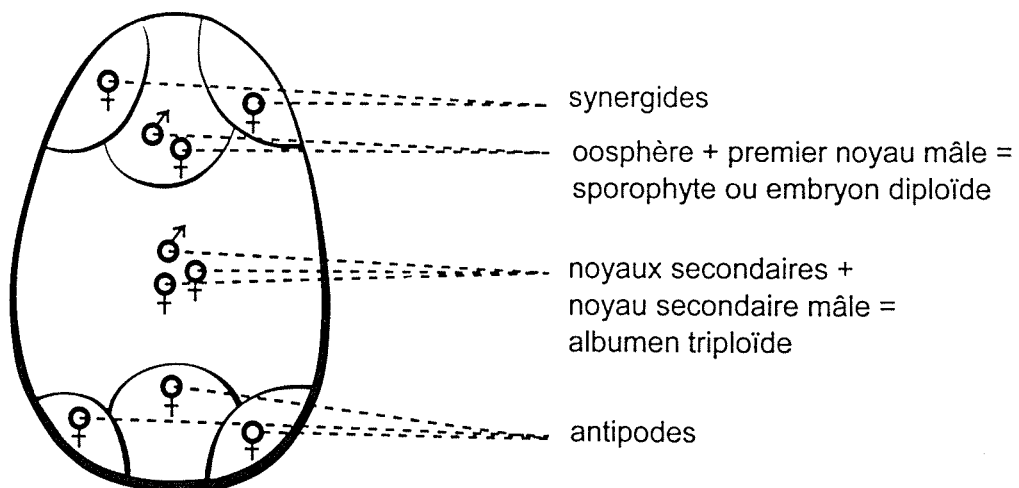


Figure .9 — Sac embryonnaire : double fécondation.

3.2.3. Critères de sélection

La productivité est l'objectif le plus important. Il s'agit d'obtenir des variétés qui, en moyenne, présentent une productivité plus élevée et plus régulière que les anciennes. Cela suppose une meilleure exploitation de l'hétérosis potentielle, une meilleure résistance aux ennemis, une meilleure adaptation aux techniques culturales.

Viennent ensuite **les caractéristiques technologiques du grain** : teneur et qualité des protéines du grain, nature de l'amidon (amylopectine, amylose), teneur en huile, teneur en pigments caroténoïdes.

Sans oublier **la modification du type de plante**. Il s'agira, par exemple, d'améliorer l'efficacité physiologique de la plante en augmentant son fonctionnement photosynthétique, en adaptant la plante à une plus grande intensification **de** la culture (nanisme, prolifération ou limitation du nombre d'épis par plante, etc.).

Enfin, on tentera de **simplifier la production des semences hybrides**, par exemple en créant des lignées mâles stériles, donc génétiquement castrées.

Passons en revue et en détail ces différents critères. • **La**

productivité

L'hétérosis potentielle est liée à une bonne exploitation de la vigueur hybride de la plante. Cela signifie qu'il faudra toujours veiller à ce que les hybrides de maïs créés réalisent les conditions génétiques responsables de la vigueur hybride (groupes d'allèles dominants, superdominance, etc.). Cette hétérosis sera maximale dans les hybrides de première génération mais aussi dans certaines populations synthétiques.

La résistance aux maladies doit être effective dans les diverses structures rencontrées telles que population, composite, population synthétique, hybrides.

Dans une population, des plantes sont généralement choisies après infection naturelle ou artificielle. Les descendants de ces plantes s'interfécondent et fournissent la semence de base d'une population améliorée. Le processus de sélection peut être répété cycliquement.

Le composite sera créé au départ de lignées résistantes obtenues par sélection généalogique peu poussée, dont l'interfécondation fournira un mélange de graines hybrides à large base génétique.

La population synthétique sera créée au départ de lignées purifiées sélectionnées pour divers caractères, notamment la résistance aux maladies. Ces lignées à bonne aptitude générale et spécifique à la combinaison sont

entrecroisées et les graines obtenues constituent la base de la population synthétique qui consiste donc en une population améliorée d'hybrides pour divers caractères (dont la résistance aux maladies) .

Les hybrides étant construits à partir de lignées consanguines (deux pour l'hybride simple, trois pour l'hybride trois voies, quatre pour l'hybride double), les lignées seront résistantes aux principales maladies et posséderont une bonne aptitude à la combinaison. Les hybrides obtenus présenteront non seulement un haut potentiel de productivité (vigueur hybride), mais également une bonne résistance aux maladies.

Dans les régions tropicales, les principales maladies pour lesquelles il faut chercher des résistances sont les rouilles, l'helminthosporiose, le charbon et les maladies virales de la striure.

- Les caractéristiques technologiques du grain

La nature de l'amidon d'un grain de maïs normal est de 27 % d'amylose et 73 % d'amylopectine. Pour diverses raisons d'ordre industriel, on essaye dans certains pays d'augmenter l'une ou l'autre forme d'amidon. C'est pourquoi certains programmes d'amélioration tentent de créer des maïs cireux ne contenant que de l'amylopectine (gène "waxy") ou des maïs amylicés (gène "amylose étendu"). Il serait ainsi possible d'atteindre des teneurs en amylose comprises entre 70 et 80 %. Il est évidemment indispensable d'associer à cette modification de composition de l'amidon, une productivité au moins égale à celle des variétés ordinaires.

L'amélioration de la quantité et de la qualité des protéines du grain se pratique un peu partout dans le monde. On tente aujourd'hui de produire des variétés de maïs à haute teneur en protéines et riches en certains acides aminés généralement déficients. Un premier objectif vise à obtenir du maïs dont le grain possède une teneur en protéines voisine de 15 %. Le second objectif est d'augmenter la teneur en acides aminés déficients tels que la lysine et le tryptophane.

L'amélioration quantitative se pratique généralement à partir du géniteur "Illinois high protein" contenant 18 % de protéines totales. Mais à une augmentation de la teneur protéique totale du maïs correspond une augmentation de la teneur en zéine, prolamine pauvre en lysine et tryptophane. Il existe donc une relation négative entre la teneur en protéines et la teneur en acides aminés essentiels (lysine et tryptophane).

L'amélioration qualitative peut se pratiquer soit en augmentant l'importance du germe dont les protéines sont bien équilibrées, soit en améliorant la composition des protéines de l'endosperme qui sont de qualité médiocre, car elles sont déficientes en lysine et en tryptophane.

Deux caractères ont un effet important sur la composition en acides aminés des protéines de l'endosperme du grain de maïs. Les maïs qui possèdent les gènes "opaque 2" (o~) ou "farineux 2" (f~), sont appelés "riches en lysine". Ce terme est quelque peu impropre, la lysine n'étant pas le seul acide aminé en cause (tryptophane, leucine, acide aspartique). La composition en acides aminés des maïs "normaux", "opaque 2" et "farineux 2" est reprise au tableau .2. Les caractères o~ et f~ étant récessifs, il faut que les hybrides ou populations créées possèdent ces caractères à l'état homozygote. Les types o~ et f~ se reconnaissent par la texture de leur endosperme, tous deux étant très farineux.

Tableau .2 - Acides aminés dans l'endosperme des maïs appartenant aux types "normaux", "opaque 2" et "farineux 2", valeurs exprimées en % de la protéine.

Acide aminé	Maïs normal	Maïs opaque 2	Maïs farineux 2
Acide aminé	Maïs normal	Maïs opaque 2	Maïs farineux 2
Glycine	3,1	4,7	3,7
Alanine	10,1	7,2	8,6
Valine	5,4	5,3	5,6
Leucine	8,8	11,6	13,9
Isoleucine	4,5	3,9	4,2
Sérine	5,6	4,8	5,3
Thréonine	3,5	3,7	3,6
Arginine	3,4	5,2	4,3
Lysine	1,6	3,7	3,4
Acide glutamique	26,0	19,8	20,6
Acide aspartique	7,0	10,8	10,9
Cystine	1,8	1,8	1,6
Méthionine	2,0	1,8	3,4
Phénylalanine	6,5	4,9	5,4
Tyrosine	5,3	3,9	4,7
Proline	8,6	8,6	10,0
Histidine	2,9	3,2	2,4
Tryptophane	0,8	1,2	0,9
Protéines (%)	12,7	11,1	13,6

Pour obtenir des hybrides améliorés à fort rendement, il faut surmonter plusieurs difficultés. Les grains à consistance farineuse ont en effet tendance à avoir une plus faible densité. Ils sont plus sensibles à la pourriture que les types durs ou indentés, ils sèchent plus lentement que les types normaux, leur consistance, plus molle, les rend plus sensibles aux dommages causés par la récolte mécanique. On peut obtenir des hybrides mieux équilibrés en acides aminés de deux manières différentes:

- en incorporant, ensemble ou séparément, les deux gènes récessifs dans des lignées pures standard intéressantes d'un point de vue commercial, par un processus classique de rétrocroisements,

- en incorporant, ensemble ou séparément, ces gènes dans de grandes populations qui pourront ensuite être sélectionnées à la fois pour une bonne productivité et un bon équilibre en acides aminés. Le phénotype "opaque 2" est malheureusement influencé par des gènes modificateurs. Dans certains cas, les grains "opaque 2" ne dépassent pas la moitié du poids des grains nonnaux apparentés; dans d'autres cas, il arrive que la différence entre les deux types de grains soit nettement plus faible.

Les meilleurs hybrides "opaque 2" actuellement disponibles ont un rendement plus ou moins égal à 95 % de celui de leurs équivalents normaux.

Des travaux de sélection visant à obtenir des maïs "riches en lysine", bien adaptés aux conditions locales sont déjà bien avancés. La Colombie produit semicommercialement des hybrides "opaque 2". Le Nigeria a mis au point un maïs "opaque 2" dont le rendement est supérieur à celui des variétés non améliorées cultivées dans le pays. On met au point des variétés possédant des protéines de meilleure qualité au Mexique, aux Indes, au Kenya et dans d'autres pays où le maïs constitue une céréale alimentaire importante.

L'amélioration de la teneur en huile du caryopse de maïs qui en contient en moyenne 4 % passe par l'augmentation de la taille de l'embryon. En effet, cette huile est contenue essentiellement dans l'embryon. Des travaux d'amélioration sont possibles pour augmenter l'importance de l'embryon et ainsi accroître la teneur en huile du grain. À titre d'exemple, l'accroissement de la teneur en huile de 4,2 à 7 % a été possible en deux cycles de sélection récurrente.

• La modification du type de plante

Le nanisme consiste en l'obtention d'hybrides de taille réduite, aussi productifs que les hybrides normaux. Cette réduction de la hauteur totale paraît souhaitable car elle améliore la résistance à la verse et doit permettre l'apport de doses importantes d'engrais azotés. La solution consiste le plus souvent à utiliser un caractère de nanisme (le gène "brachytic 2"). Il faudra toujours veiller à ce que les caractères de nanisme utilisés n'affectent pas d'autres organes que les tiges.

La prolifération des épis femelles est importante car il est souhaitable de rechercher des maïs, possédant, jusqu'à la floraison, un système d'auto-ajustement génétique qui leur permette de compenser une faible densité de plantation par la production d'un plus grand nombre d'épis.

Une meilleure efficacité photosynthétique doit assurer une photosynthèse globale maximale. Or, on remarque que chez le maïs les feuilles étagées le long de la tige, aux limbes retombants se portent mutuellement ombrage, ce qui réduit l'activité photosynthétique. Pour améliorer celle-ci, on cherche à produire des plantes aux feuilles dressées.

La résistance à la ver5.e est primordiale. Pour lutter contre les risques de verse en végétation, on s'attache à produire des hybrides dotés d'un système racinaire volumineux, bien ramifié, implanté profondément, aux racines d'ancrage longues et d'une tige solide au niveau des entre-nœuds de la base. La hauteur d'insertion de l'épi joue également un rôle important dans la résistance à la verse.

• **Simplification dans la production de semences**

L'introduction de la stérilité mâle d'origine cytoplasmique chez le maïs peut être intéressante pour réduire l'incidence de l'écimage nécessaire à la production de semences hybrides. La stérilité mâle d'origine cytoplasmique a pour effet d'empêcher les panicules de produire du pollen fonctionnel. Comme son nom l'indique, elle est transmise exclusivement par l'intermédiaire des cytoplasmes des cellules germinales.

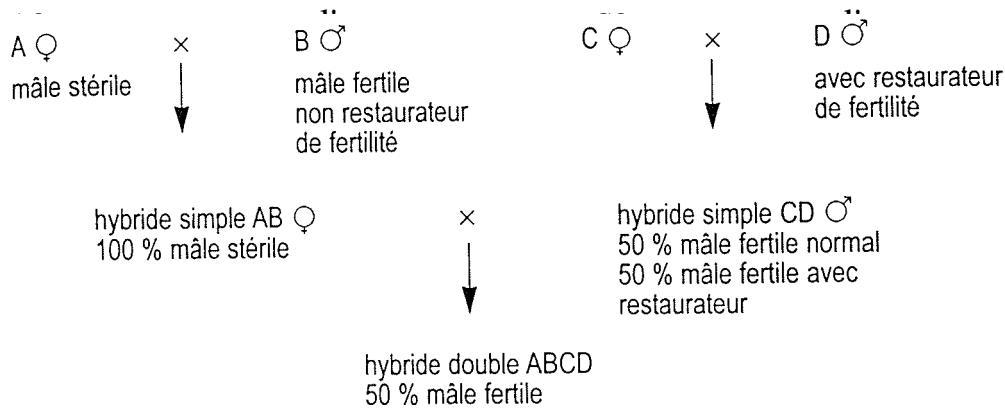
Cette stérilité mâle n'est pas un phénomène normal chez les lignées pur~s qui sont à la base des hybrides commerciaux. On peut la provoquer chez une lignée en la croisant avec une autre lignée mâle stérile (lignée "TEXAS") et en rétrocroisant de trois à cinq fois la descendance ainsi obtenue avec la lignée classique. À chaque génération, ne sont retenues que les plantes stériles possédant les caractères de la lignée commerciale.

Pour conserver la lignée mâle stérile, il suffit de la croiser avec la même lignée, mais normale, en utilisant la souche à stérilité mâle comme parent femelle. Les hybrides obtenus sont stériles. Pour assurer leur pollinisation, il convient de produire du pollen en abondance. Pour cela, il faut mélanger les semences résultant de l'utilisation de la stérilité mâle (2/3) avec des semences obtenues suivant la méthode classique (1/3).

Le schéma de création d'un hybride double avec utilisation de la stérilité mâle d'origine cytoplasmique est le suivant:

1 ^{re} année	lignée A Q (stérilité mâle) pas d'écimage	x	lignée B C J (normale) , fournit le pollen	lignée C Q (normale) écimée,	x	lignée D C J (normale) , fournit le pollen
2 ^e année			hybride simple AB Q (stérilité mâle) pas d'écimage	x	hybride simple CD C J (normale) , fournit le pollen	
3 ^e année			(stérilité mâle)		hybride double ABCD	

On peut également recourir à un géniteur mâle, issu d'un croisement simple, qui serait porteur de facteurs de régénération de fertilité aptes à compenser les effets de la stérilité mâle d'origine cytoplasmique et rétablissant la production du pollen dans la récolte suivante (hybrides doubles).



2.4. Méthodes et techniques d'amélioration

- Méthodes d'amélioration

Principes généraux

Rappelons tout d'abord que chez le maïs, comme chez de nombreuses plantes allogames, le rendement demeure étroitement associé à la vigueur de la plante, celle-ci étant liée à l'état d'hétérozygotie, c'est-à-dire au caractère hybride de l'individu. Cela condamne la lignée pure comme objectif d'amélioration. L'objectif pour le maïs sera donc de rechercher une vigueur maximale grâce à la création d'hybrides; le phénomène d'hétérosis étant infixable, il faudra donc renouveler périodiquement les hybridations susceptibles de la produire.

La population d'origine

Tout travail d'amélioration débute par un choix de plantes-mères dans une population. Cette population peut être locale, étrangère, naturelle, synthétique. Elle sera, si possible, multipliée sur une vaste étendue, afin que la variabilité y soit maximale. L'améliorateur aura ainsi un maximum de chances d'y découvrir des élites.

Les difficultés inhérentes au choix des élites

Les difficultés rencontrées sont principalement dues à la variabilité du milieu de culture, à l'instabilité des caractères observés chez les génotypes choisis, à l'imperfection de nos connaissances en génétique.

C'est la raison pour laquelle l'améliorateur qui désire trouver des individus élites, devra avant tout tenter d'estimer la variabilité de la fertilité du milieu cultural afin de ne pas se laisser impressionner par le phénotype des plantes et choisir le plus grand nombre possible d'individus prometteurs. La loi des grands nombres, jointe à l'esprit d'observation et à l'expérience du sélectionneur, pallie l'imperfection des moyens d'investigation.

Techniques de purification des élites choisies

Elles sont déterminées par le mode de reproduction de l'espèce. Chez le maïs, les interventions humaines permettent de réaliser facilement des autofécondations artificielles et des hybridations.

a) L'autofécondation artificielle

Appliquée à une plante allogame, donc hétérozygote, elle dissocie le stock héréditaire de la plante et met en évidence une multitude de combinaisons de caractères. Répétée, elle permet d'obtenir une réduction progressive du nombre de plants hétérozygotes au profit de plants homozygotes. Les améliorateurs estiment généralement qu'après dix autofécondations successives, la population hybride initiale est pratiquement dissociée en lignées homozygotes.

Le premier effet de l'autogamie est de fixer les caractères dans la descendance. La sélection pratiquée en cours d'autofécondation permet de maintenir ceux qui sont intéressants et d'éliminer les autres.

Le second effet de l'autogamie est de provoquer une dégénérescence des plantes, laquelle s'accroît au fur et à mesure qu'augmente le degré d'homozygotie.

En général, il est conseillé de ne pas pousser l'autogamie du maïs trop loin.

Une bonne fixation de l'ensemble des caractères recherchés est souvent suffisante. La non fixation de caractères secondaires est parfois utile pour assurer une certaine plasticité des lignées.

b) L'hybridation

Elle a pour but de recombinaison les caractères dissociés et fixés par autofécondations successives en rassemblant dans un même individu deux stocks de caractères appartenant à des individus différents.

L'hybridation s'accompagne généralement d'une augmentation de vigueur, non seulement par rapport aux lignées parentales, mais parfois aussi par rapport à l'ensemble de la population initiale d'où les lignées parentales ont été tirées. Ce

phénomène a été appelé "hétérosis", son exploitation est essentielle dans l'amélioration des rendements du maïs (**Figure .10**).

Cet hétérosis, ou accroissement de vigueur, est caractérisé par une plus grande rapidité de croissance, par un meilleur développement végétatif et génératif, par un rendement en graines supérieur, par une meilleure résistance aux conditions défavorables du milieu, par une réponse favorable aux améliorations culturales. Il est spécifique, certaines lignées ayant plus d'affinité les unes pour les autres: c'est l'aptitude à la combinaison (*combining ability*). L'hétérosis est fugace, il est maximum en première génération hybride, il diminue ensuite progressivement au cours de générations subséquentes.

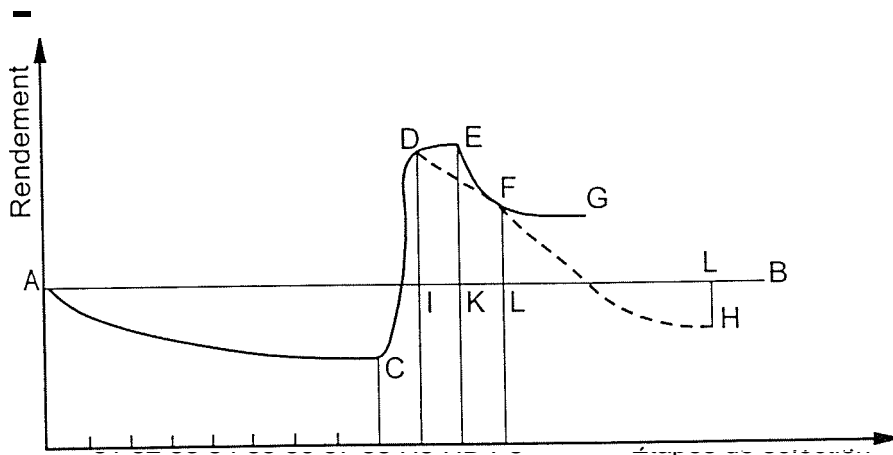


Figure .10 - Variation schématique de la vigueur en cours de sélection

(source: Station INEAC de Gandajika-Congo).

SI, S2, ... S8 : Fe, 2^e, ... 8^e autofécondation HS :

stade des hybrides simples

HD : stade des hybrides doubles

PS : stade population synthétique

AB : niveau de rendement d'une population

AC : courbe du rendement marquant la dégénérescence des lignées en voie d'autofécondation

CD : manifestation de l'hétérosis chez un hybride simple

DE : légère augmentation de vigueur en passant des hybrides simples aux hybrides doubles

EF : diminution de vigueur en passant des hybrides doubles aux populations synthétiques

FG : stabilisation des populations synthétiques au cours des générations ultérieures DH :

dégénérescence des hybrides simples au cours des générations ultérieures

DI : mesure du bénéfice dû à l'emploi d'hybrides simples

EK : mesure du bénéfice dû à l'emploi d'hybrides doubles

FL : mesure du bénéfice dû à l'emploi de populations synthétiques

LH et EH : mesure de la perte due à l'emploi de grains en provenance des générations postérieures d'hybrides simples ou doubles.

Dans la pratique culturale, on remédie à cette dégénérescence, soit en recréant l'hybride d'année en année à partir des lignées-mères conservées dans les stations d'amélioration (hybrides simples, hybrides doubles, hybrides trois voies), soit en mélangeant entre eux un certain nombre de lignées ou d'hybrides doubles pour créer des composites ou des populations synthétiques.

Le phénomène d'hétérosis peut être exploité dans différents cas:

- par croisement de lignées pures avec d'autres lignées pures en vue de créer des hybrides simples;
- par croisement de lignées issues directement d'une population ou n'ayant subi qu'une seule autofécondation avec une population homogène choisie (top cross précoce) ;
- par croisement de lignées ayant déjà subi plusieurs autofécondations (quatre ou cinq) avec une population homogène choisie (top cross) ;
- par fécondation de lignées pures avec un mélange homogène de pollen en provenance d'autres lignées (polycross) ;
- par croisement d'un hybride simple (A x B) par un autre hybride simple (C x D) en vue de former un hybride double [(A x B) x (C x D)] ;
- par croisement d'un hybride simple (A x B), pris généralement comme géniteur femelle, par une lignée C utilisée comme parent mâle en vue de former un hybride trois voies;
- par mélange de nombreux hybrides en vue de former une population synthétique.

Les lignées capables de fournir des hybrides vigoureux sont déterminées grâce aux essais comparatifs. On distingue généralement les tests d'aptitude générale à la combinaison des tests d'aptitude spécifique à la combinaison.

• Techniques d'amélioration

- Sélection naturelle. Celle-ci est générale dans la nature et se caractérise par la disparition des biotypes dont la formule génétique ne peut s'accommoder du milieu.
- Sélections de masse. Elles s'effectuent sans isolement de pieds-mères. Elles n'exigent ni fécondations artificielles, ni exploitation consciente de l'hétérosis.

*Sélection massale ordinaire (Figure .11). L'efficacité de cette sélection massale est réduite parce qu'on ne connaît pas la nature des géniteurs mâles. La valeur phénotypique des géniteurs femelles est la seule connue. Elle est pratiquée depuis des temps immémoriaux et est à l'origine de la caractérisation des types locaux de maïs.

choix des plantes-mères dans une population

formation d'une nouvelle population au moyen

du mélange des graines des plantes choisies

répétition continue du même processus -

essais comparatifs

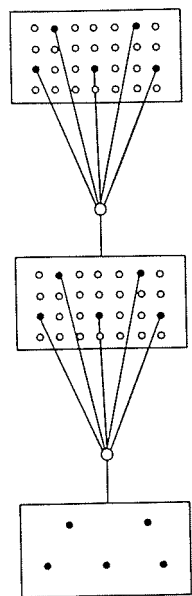


Figure .11 - Sélection massale ordinaire.

* **Sélection "ear to row"** (méthode de l'épi de la ligne) (**Figure .12**). Cette technique fournit plus de chances de réussite que la précédente. Elle juge a posteriori les apparences phénotypiques maternelles. Elle a donné de bons résultats pour l'amélioration des caractères morphologiques et chimiques, faiblement influencés par le milieu.

choix de plantes-mères dans une population

semis en ligne des graines de chaque plante-mère avec témoin (T) intercalé

répétition du cycle au moyen des graines

provenant des meilleures plantes

des meilleures lignes

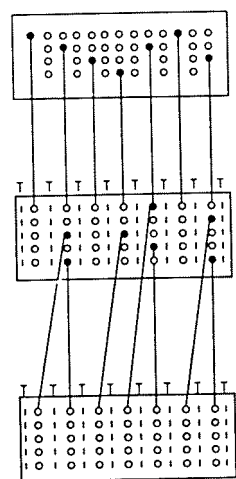


Figure .12 - Sélection "ear to row".

* Sélection "ear remnant" (méthode de l'épi restant) (Figure 8.13). Cette technique est supérieure aux deux précédentes parce qu'elle tient compte, non seulement des apparences phénotypiques, mais aussi de leurs performances en pollinisation ouverte.

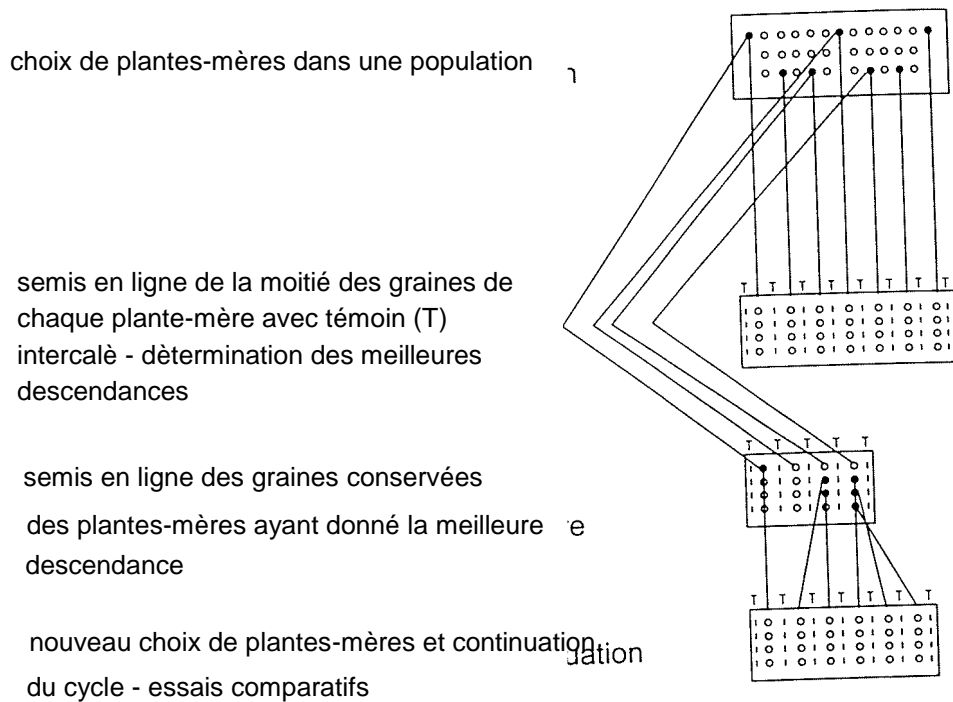


Figure .13 - Sélection "ear remnant".

_ La création des hybrides doubles (Figure .14). Au stade de la formation des lignées épurées, on élimine à chaque génération les lignées qui laissent apparaître des tares majeures (maladies, caractéristiques morphologiques défavorables, grains non confonnes, ...). La diminution de vigueur étant nonnale, il n'y a pas lieu d'éliminer systématiquement les lignées les plus dégénérées. Il n'y a pas lieu non plus de conserver celles qui dégènèrent le moins, car leur fixation peut être moins parfaite.

Le nombre de pieds choisis par lignée va croissant jusqu'en 3^e génération d'autofécondation parce que, jusqu'à ce stade, l'hétérogénéité des lignées est encore forte. Il diminue par la suite.

Au stade de la formation des hybrides simples, il y a lieu de rechercher le maximum de combinaisons possibles entre les lignées non apparentées et d'éviter les hybrides dérivant de la même souche.

Il est possible de calculer la probabilité théorique de rendement des hybrides doubles au départ des rendements des hybrides simples intervenant dans leurs combinaisons. Cette probabilité est en corrélation très étroite avec les rendements réellement obtenus. Ces calculs permettent de réduire le nombre d'hybrides doubles à comparer. Ils sont réalisés suivant la méthode préconisée par JENKINS (1942) :

$$HD_{AB-CD} = 1/4 (HS_{AC} + HS_{AD} + HS_{BC} + HS_{BD})$$

Une formule similaire peut être utilisée pour la prédiction des hybrides trois voies.

$$HTV_{AB-C} = 1/2 (HS_{AC} + HS_{BC})$$

Les problèmes posés par la prédiction de la valeur des hybrides doubles ont été examinés attentivement par des généticiens spécialisés en génétique quantitative. Ils ont établi que la méthode de JENKINS était la meilleure lorsque tous les gènes concernés étaient de nature additive. Les hybrides doubles dégénèrent rapidement au cours des générations ultérieures à leur formation. Des rendements élevés ne peuvent être maintenus que par renouvellement annuel de ces hybrides.

_ La création des populations synthétiques. On appelle population synthétique, les générations successives d'un hybride multiple évoluant en pollinisation ouverte. La création d'une population synthétique suit, dans sa phase initiale, le schéma de création des hybrides doubles. Elle est obtenue par mélange d'un nombre égal de graines des différents hybrides doubles créés à partir de n lignées de base.

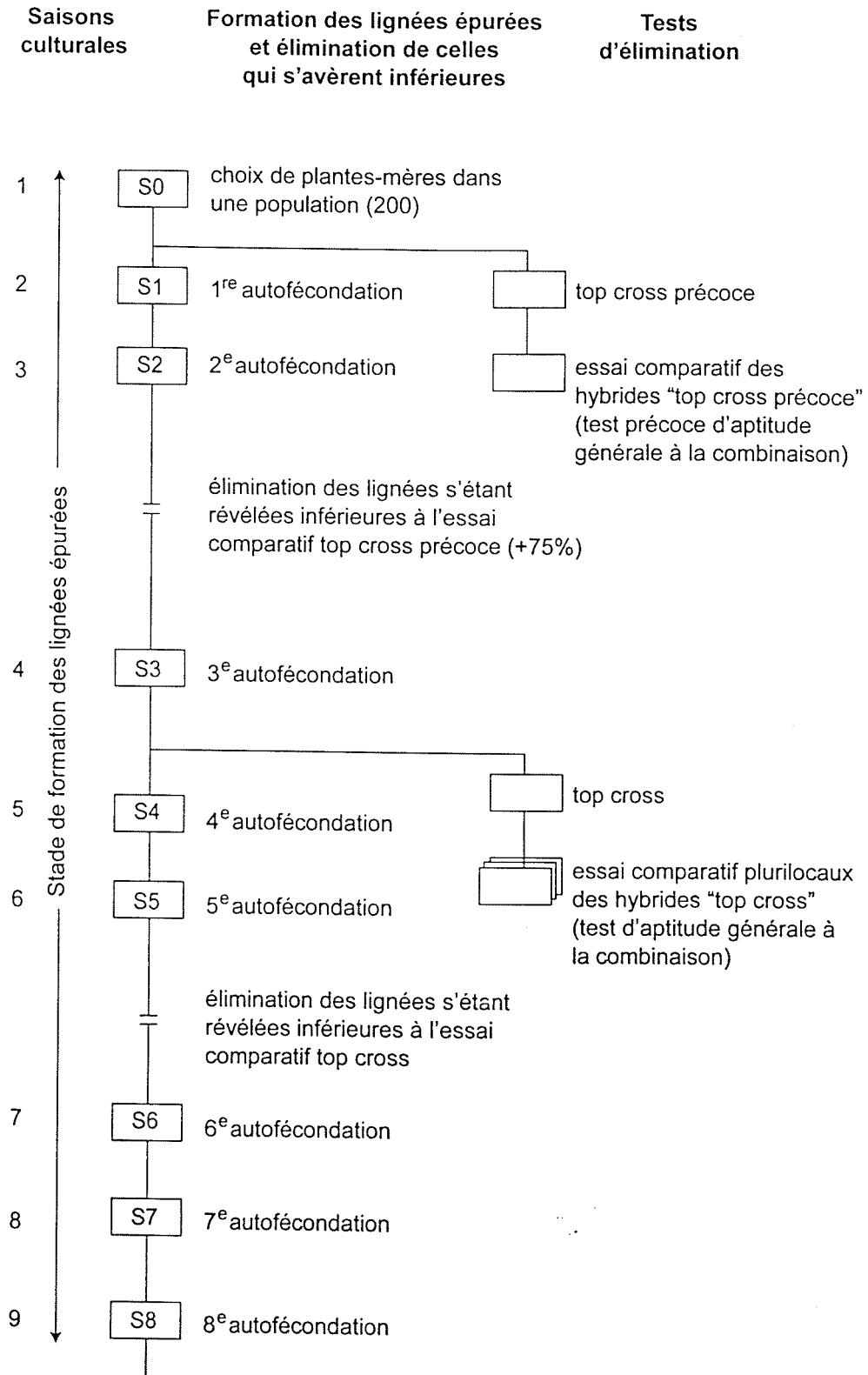
Les populations synthétiques sont utilisées là où le renouvellement fréquent des graines de semis est impossible, mais où l'extirpation totale des graines d'origine locale est réalisable. Les populations synthétiques dégénèrent lentement si le nombre des lignées de base est suffisant. Elles atteignent finalement un palier qui doit normalement rester supérieur à celui de la population au sein de laquelle la sélection a été opérée.

Mais si le nombre de lignées de base est relativement important, il est pratiquement impossible de créer la totalité des hybrides doubles à partir de ces lignées. En effet, si nous démarrons avec douze lignées de base, elles permettront de créer

$$\frac{12! \times 3}{4! (12-4)!} = \frac{12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \times 3}{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \times 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 1\ 485 \text{ HD différents.}$$

La création d'un aussi grand nombre d'hybrides doubles différents est pratiquement impossible. Aussi, une méthode simplifiée a-t-elle été proposée par Guy LE MARCHAND¹. Elle a été utilisée avec succès à la station de Gandajika au Congo. Elle consiste en la création d'un certain nombre d'hybrides simples et doubles. Ceux-ci sont réalisés suivant le schéma du tableau .3.

¹ Ancien améliorateur des plantes vivrières des stations INEAC de Gandajika et Mulungu au Congo ex Belge. Ancien chef de travaux à la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).



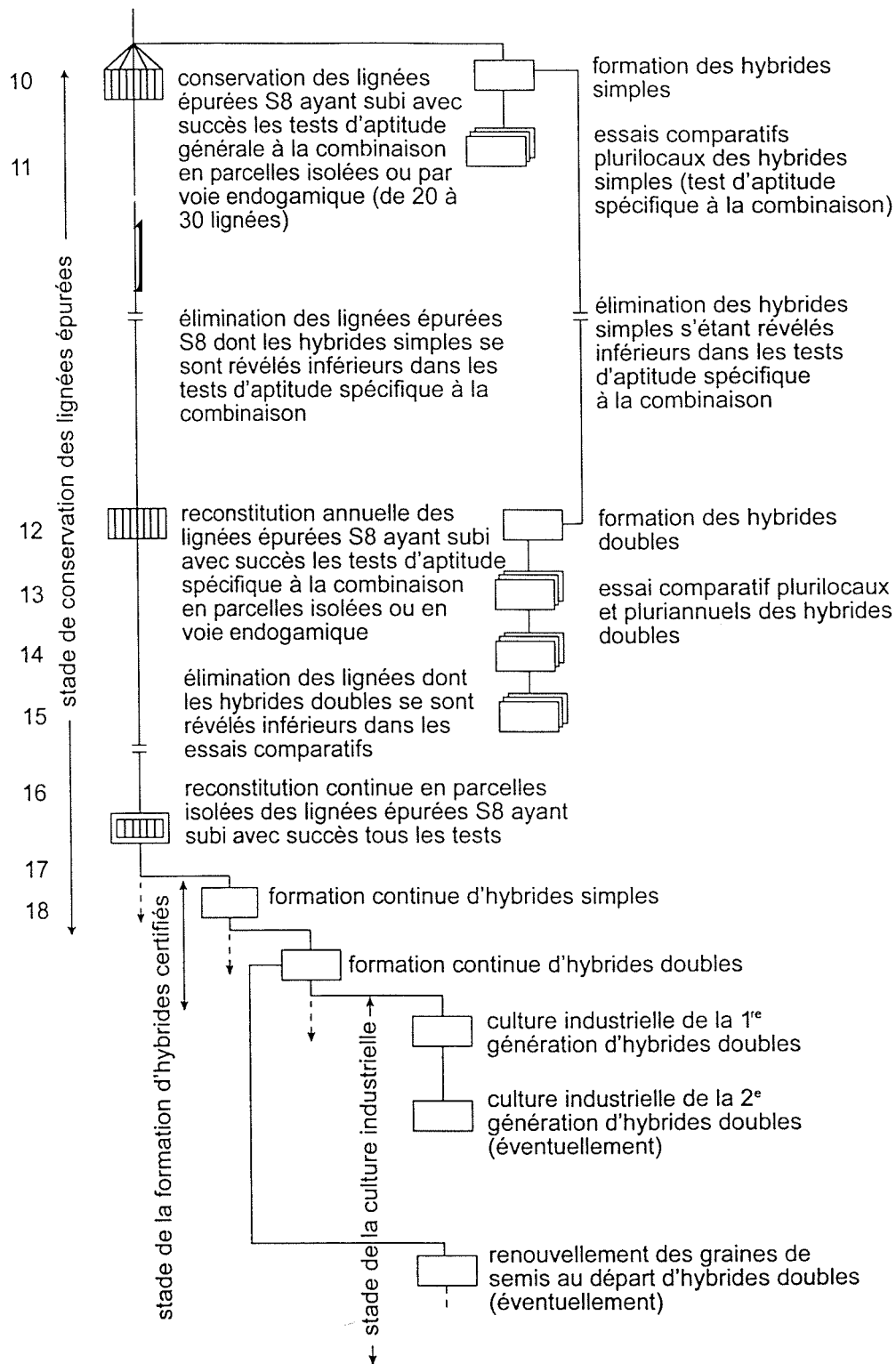


Figure .14 — Création d'hybrides doubles.

figure .14 - Création d'hybrides doubles.

- **La création de populations synthétiques après une ou deux autofécondations (composites).** Cette méthode permet de gagner du temps par suppression des nombreuses autofécondations successives.

Un "top-cross" est réalisé après une ou deux autofécondations. Les graines des meilleures lignées, c'est-à-dire celles qui présentent une bonne aptitude générale à la combinaison, sont mélangées en nombre égal pour créer une population synthétique qui devient homogène après deux ou trois cultures successives. Le cycle est répété si nécessaire.

Cette méthode est basée sur l'hypothèse d'une fixation de l'aptitude à la combinaison dès les premières autofécondations. La fixation incomplète des caractères permet de maintenir une certaine plasticité dans la population.

- **La sélection cumulative (Figure .15).** Cette sélection consiste à choisir dans une population des plantes présentant un phénotype supérieur et de les croiser entre elles en tous sens afin de créer une nouvelle population.

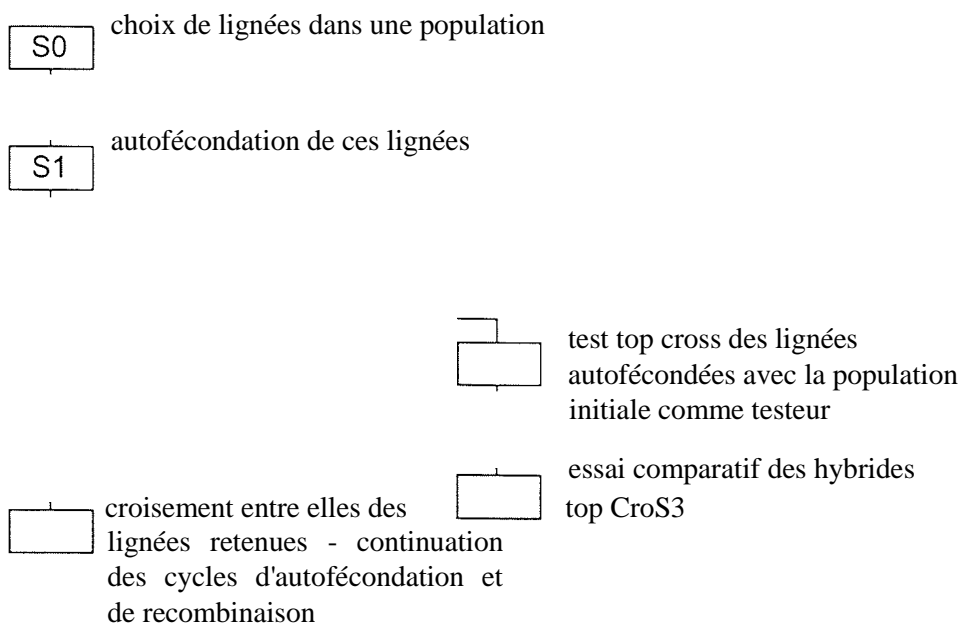


Figure .15 - Sélection cumulative.

La sélection cumulative tend à augmenter graduellement la fréquence d'allèles favorables. Elle a l'avantage de maintenir une certaine variabilité génétique tout en permettant aux caractères favorables de progresser vers un état d'homozygotie efficace. Cette méthode peut être recommandée pour la recherche de variétés largement adaptables à des milieux différents.

- Les polycross (Figure .16). Ils se créent suivant le schéma suivant: ~

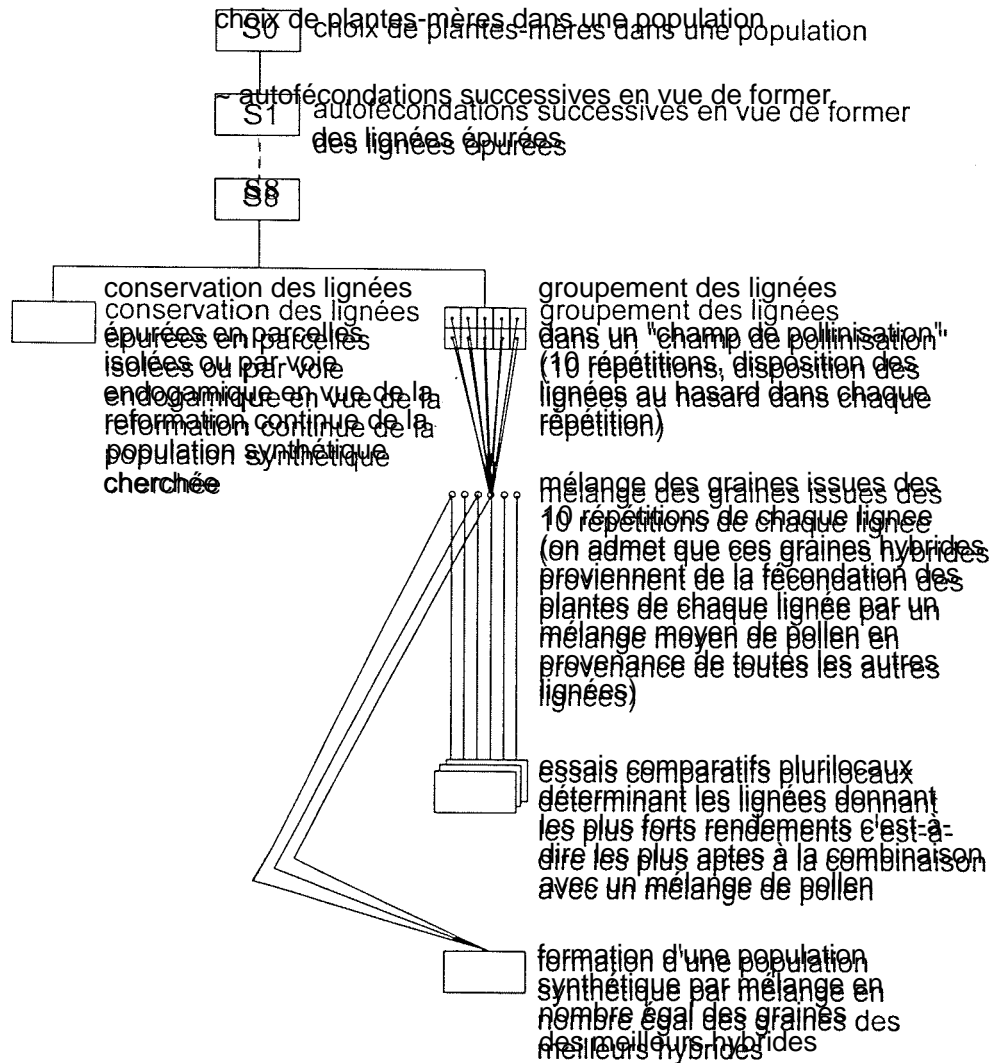


Figure .16 — La méthode polycross.

Une population synthétique de ce type possède une haute aptitude générale à la combinaison. Elle résiste particulièrement bien aux hybridations étrangères, son mélange avec des populations locales contribue à améliorer ces dernières. Son introduction peut être envisagée là où l'élimination des variétés locales est impossible et où la diffusion d'un nouveau matériel est espacé dans le temps.

- Le croisement de **retour** (back-cross) a pour but, dans un matériel végétal déjà performant, de modifier certains caractères particulièrement importants ou de corriger certaines déficiences. Il apportera à une lignée A (récurrente) un caractère simple appartenant à une lignée B (donneuse).

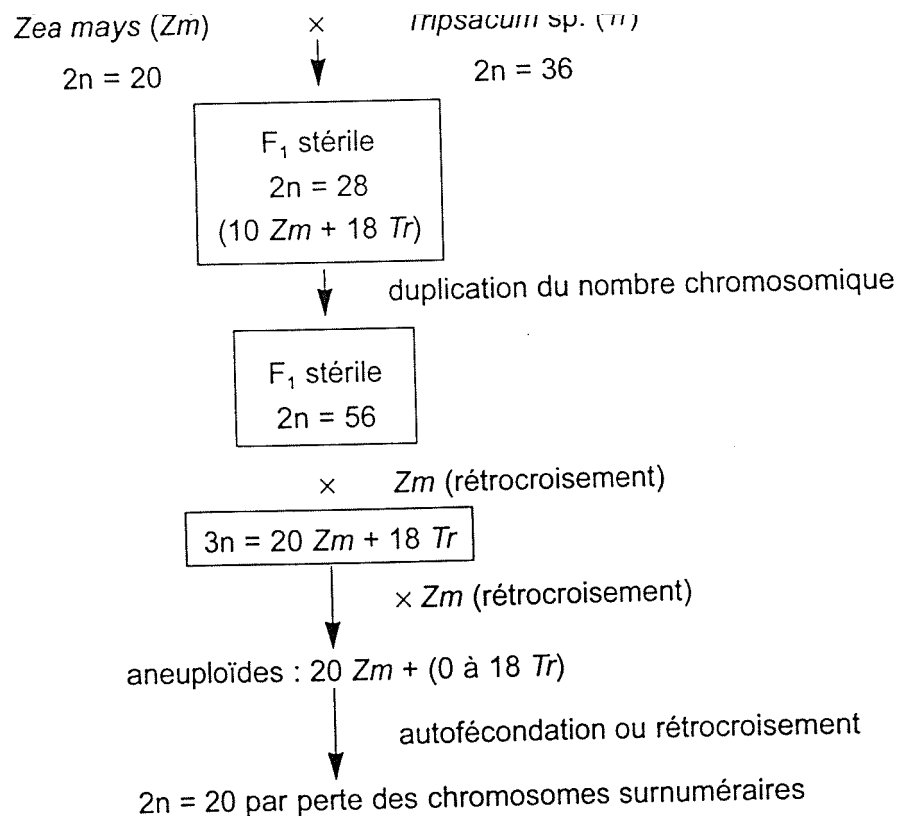
.2.5. Amélioration du maïs par hybridations interspécifiques

Le maïs est une plante possédant une grande adaptabilité, mais il existe cependant chez cette plante un problème au niveau de l'introduction de nombreux gènes et d'une diversité génétique plus large.

Une première possibilité est d'introduire des gènes provenant du téosinte (*Zea mays* L. subsp. *mexicana* (SCHRADER) ILTIs) dans le "gene pool" du maïs. Une seconde possibilité consiste à utiliser le genre *Tripsacum*.

Une série d'études ont en effet montré que des hybrides peuvent être obtenus et des caractères transférés du *Tripsacum* au maïs. C'est la raison pour laquelle le genre *Tripsacum* peut être considéré comme une source potentielle de caractères intéressants pour l'amélioration du maïs.

Les hybridations avec le maïs se pratiquent de la manière suivante:



On pense aujourd'hui que les différentes espèces de *Tripsacum* représentent un bon réservoir de gènes intéressants. Des caractères de résistance trouvés chez ces espèces de *Tripsacum* et transférés sur maïs sont, par exemple, des résistances

monogéniques à des champignons et des bactéries ainsi qu'à des virus et à des insectes.

La qualité des protéines a également été examinée au niveau des protéines de stockage dans les graines.

Le transfert du caractère apomictique au maïs pourrait également avoir un grand impact sur les schémas de sélection du maïs.

Mais avant d'entreprendre en grand ce type d'hybridation, il faudra encore approfondir la génétique des *Tripsacillum*, faire l'inventaire des caractères intéressants, les localiser sur les chromosomes. Le but ultime est d'accroître les possibilités d'utilisation de ce vaste réservoir génétique constitué par les espèces du genre *Tripsacillum*.

.2.6. Méthodes transgéniques appliquées au maïs

Des maïs commerciaux transgéniques contenant un ou plusieurs gènes de *Bacillus thuringiensis* (Bt) sont actuellement utilisés aux États-Unis et bientôt dans d'autres pays développés. Ces gènes Bt sont des versions synthétiques du gène provenant de la bactérie du sol Gram + *Bacillus thuringiensis* qui code une 8 endoxine ou protéine insecticide. Ces protéines, utilisées depuis des années dans des bio-pesticides, sont toxiques pour les larves d'insectes dont un certain nombre sont des ennemis importants des plantes.

Quel rôle la transgénèse peut-elle jouer dans l'amélioration du maïs dans les pays en développement?

La résistance aux insectes a été et continue à être un objectif important dans le travail des améliorateurs du maïs. Il est aujourd'hui démontré que la plupart des gènes Bt peuvent être utiles dans la lutte contre les insectes et des efforts sont aujourd'hui réalisés dans de nombreux laboratoires pour développer des versions synthétiques de ces résistances et les introduire dans des variétés transgéniques en voie de création. La création de telles variétés transgéniques de maïs présente un intérêt certain pour le pays en développement.

En est-il de même pour des maïs résistant aux herbicides en agriculture tropicale?

De nombreux chercheurs craignent que des "flux de gènes" provenant des variétés transgéniques ne se transmettent à certaines mauvaises herbes et ne créent ainsi des "super mauvaises herbes" résistantes qui obligerait le cultivateur à augmenter ses doses d'herbicides, le rendant encore plus dépendant des produits chimiques. Dans certains cas, l'utilisation de maïs résistant à certains

herbicides pourrait cependant se montrer bénéfique. Ce serait le cas dans certaines régions d'Afrique qui souffrent de la présence de mauvaises herbes parasites du maïs. La principale est le *Striga* sp. qui, dans cette partie du monde, cause des baisses importantes de production chez le maïs. Peu ou pas de résistances ont été trouvées dans le génome du maïs. Des résistances ou des tolérances à ce parasite existent cependant dans des formes apparentées à cette espèce, mais le transfert de ces résistances dans le maïs à haute productivité prendrait beaucoup de temps. Certains herbicides non sélectifs peuvent être utilisés pour contrôler les infestations des *Striga* sp. Si on les combine avec la variété de maïs résistante aux herbicides correspondante, de faibles doses de traitement de semences pourraient fournir de bons niveaux de contrôle. Cette approche, bien que requérant des recherches complémentaires pourrait fournir une option à court terme pour augmenter fortement la quantité d'aliments disponibles pour les fermiers pauvres de certains pays d'Afrique.

Quoi qu'il en soit, le futur des maïs transgéniques dans le pays t'n développement restera longtemps encore problématique, cette introduction étant par trop liée à une forte intensification de l'agriculture et à la possibilité pour les cultivateurs de se lier à des firmes commerciales qui imposent à leurs clients des contraintes peu compatibles avec leur état de sous-développement.

.2.7. Production de semences

La production de semences est une activité importante et délicate. Rappelons que toute variété (population ou hybride) multipliée et diffusée doit préalablement avoir fait l'objet, pendant plusieurs années, d'essais rigoureux en station et en milieu rural, prouvant son intérêt et sa supériorité. Les champs de multiplication doivent être isolés afin d'éviter tout croisement indésirable.

Les techniques de culture, de récolte et de séchage doivent faire l'objet de soins particuliers. Le conditionnement des semences sera soigné, comprenant généralement des travaux de nettoyage, de calibrage, d'enrobage au moyen de produits insecticides et fongicides. La production de semences à partir de populations (à pollinisation libre) s'effectue en une seule culture.

La production de semences hybrides nécessite: - la

multiplication des lignées parentales;

- la création des hybrides simples qui s'effectue dans des champs où on alterne deux rangs de la lignée mâle et quatre rangs de la lignée femelle. Les inflorescences mâles des lignées choisies comme parent femelle doivent être éliminées par castration manuelle ou génétique. La semence de l'hybride simple est récoltée sur les épis de la lignée femelle. La production de l'hybride simple est une opération délicate car la vigueur des deux parents est faible (lignées pures) ;

_ la création de l'hybride double se pratique suivant le même schéma que pour l'hybride simple mais, les parents étant des hybrides simples vigoureux et productifs, on alternera généralement six lignes femelles avec deux lignes mâles. Contrairement à la production d'un hybride simple, celle **d'un** hybride double est relativement facile.

La production de semences de maïs repose généralement sur une organisation complexe dans laquelle le Ministère de l'Agriculture, les services de recherche, les fermes semencières, les agriculteurs ont un rôle à jouer.

5 3.3. Le blé

Triticum spp.

2n=

, Origine" et : domestication", "

Parmi les plantes cultivées pour l'alimentation de l'homme, le blé occupe actuellement la première place en ce qui concerne les surfaces occupées, et la deuxième pour la quantité d'énergie qu'il procure. C'est aussi une des cultures les plus anciennes. Plusieurs espèces de *Triticum* ont été domestiquées, mais deux seulement sont encore cultivées : le blé dur (*T. durum*) est tétraploïde, il est destiné à la fabrication des pâtes et des semoules; le blé tendre (*T. aestivum*) est hexaploïde, il est utilisé pour la panification •

La domestication a débuté dans le Proche-Orient, probablement entre 7.500 et 6.500 avant le Christ. C'est dans cette région que se retrouvent la plupart des formes primitives et des espèces voisines qui peuvent intervenir dans l'amélioration des variétés cultivées. Les variétés hexaploïdes se sont particulièrement diversifiées et se sont adaptées à des climats très divers, pour se répandre dans la plupart des régions tempérées des deux hémisphères et dans les régions tropicales d'altitude.

La domestication et les premières sélections ont modifié l'aspect et la biologie de la plante: solidité des épis, maturation simultanée des caryopses, germination synchronique et rapide, port plus érigé, augmentation des rendements. Certains caractères qualitatifs ont également été améliorés, mais la teneur en protéines a diminué • elle est comprise entre 8 et 15%. Ces protéines sont pauvres en lysine

Amélioration variétale e.

Amélioration" va~ie(c-a..é~

En vingt ans, les cultures de blé ont augmenté, dans le monde, de 25%, pour atteindre 213 millions d'hectares en 1972 • Pendant la même période, la production a plus que doublé, pour arriver à 350 millions de tonnes, ce qui représente plus de 20%

des calories alimentaires consommées dans le monde (Simmonds, 1976). Ces chiffres montrent l'importance de l'amélioration variétale, jointe à une adaptation des méthodes culturales •.

La sélection utilise surtout des méthodes génétiques ; elle a entraîné une homogénéité croissante empêchant pratiquement les recombinaisons spontanées dans les champs. Un des buts principaux de cette sélection, a été la réduction de la taille, permettant une meilleure utilisation des fumures azotées en évitant la verse. Les variétés produites par le CYMMIT (Mexique) sous la direction de Borlaug, ont été une des causes de la "révolution verte" et d'un accroissement spectaculaire des rendements dans certains pays. En Inde, l'utilisation de ces variétés et l'adaptation des pratiques culturales ont fait passer la production de 12 millions de tonnes en 1964-65 à 31 en 1977-78 •.

Les variétés modernes sont surtout caractérisées par une augmentation de la quantité d'amidon (grain) et une réduction de la cellulose (tiges et feuilles) •.

D'autres caractères recherchés sont la précocité, qui permet de limiter l'influence des conditions climatiques défavorables, la qualité de la farine et la résistance aux maladies. Ces améliorations qualitatives ont pratiquement toutes été acquises par des hybridations intraspécifiques et sélection récurrente par back-cross •.

Perspectives d'avenir .

Le potentiel génétique des deux espèces cultivées de *Triticum* est très important, d'une part à cause de la polyploidie, responsable de l'existence de nombreux gènes dédoublés possédant des spécificités différentes et, d'autre part, à cause des nombreuses mutations qui sont apparues et ont été sélectionnées au cours de leur culture •.

Ce potentiel peut encore être élargi à partir d'autres espèces, sauvages et cultivées, de *Triticum*, *Ae. ilops*, *Secale*, *Dasyphyrum*, *Hordeum*, *Agropyron*, *Elymus*, avec lesquelles les croisements sont possibles. Beaucoup de ces espèces sont déjà bien étudiées et des gènes de résistance aux maladies et aux insectes ont été introduits dans les variétés cultivées, soit par recombinaison entre génomes homologues, soit par translocation lorsque

les chromosomes ne peuvent s'apparier. L'utilisation des croisements interspécifiques exige une très bonne connaissance des espèces voisines et demande beaucoup de temps, mais il est probable que ces méthodes continueront à être appliquées avec succès, pour l'introduction de caractères qui n'existent pas dans les variétés actuelles. En outre, les recombinaisons entre génomes homéologues peuvent être facilitées par l'élimination ou la mutation du gène régulateur de la méiose, localisé sur le chromosome 5B •

Les triticales représentent une nouvelle espèce encore à l'état brut, déjà exploitée avantageusement dans certaines régions. Leur amélioration, par combinaison des nombreux caractères existant dans les espèces parentales, permettra sans doute d'étendre leur culture •

Des mutations expérimentales ont été utilisées pour réduire la hauteur des chaumes. En général, la mutagenèse est cependant moins intéressante que chez des plantes diploïdes comme l'orge.

Les recherches sur l'utilisation d'hybrides F_1 et de l'hétérosis ont débuté en 1959. Les croisements industriels sont possibles, grâce à la production de lignées mâle-stériles possédant le cytoplasme de *Triticum timopheevi* (Auriau et al., 1979). Certains hybrides montrent un accroissement de production de 20%, et des "variétés hybrides" comparables à celles de maïs, sont cultivées dans plusieurs pays. L'application plus large de la méthode est cependant encore limitée pour deux motifs. La biologie florale du froment n'est pas adaptée à la pollinisation croisée ; l'efficacité des variétés choisies pour assurer la pollinisation devrait être améliorée à ce point de vue. D'autre part, les lignées mâle-stériles et bonnes productrices de pollen ne sont pas nécessairement celles qui possèdent la meilleure aptitude à la combinaison •

Les essais de culture d'anthères pour la production d'haploïdes n'ont jamais donné des résultats justifiant leur exploitation en amélioration. Deux variétés de froment auraient été produites en Chine en utilisant ces haploïdes (Hu et al., 1978) • Sauf amélioration sensible des pourcentages de réussite, il ne semble cependant guère possible de baser un schéma de sélection sur les haploïdes •

IV. AMELIORATION DES PLANTES A TUBERCULES

4.1. Le manioc

Manihot esculenta CRANTZ.

$2n = 36$

. 1.1. Botanique

Le manioc appartient à la famille des *Euphorbiaceae*, tribu des *Manihoteae*, genre *Manihot*. Les différentes variétés rencontrées appartiennent toutes à l'espèce *Manihot esculenta* CRANTZ. Cette dernière est originaire du Brésil.

Le genre *Manihot* est relativement large. Il comprend un grand nombre d'espèces (près de 100 espèces réparties en 17 sections). Toutes les espèces du genre possèdent $2n = 36$ chromosomes.

Les maniocs sont des arbrisseaux, des arbustes ou lianes grimpantes qui produisent du latex en quantités plus ou moins grandes ainsi qu'un glucoside cyanogénique.

Les racines sont tubéreuses ou normales contenant parfois une forte teneur en amidon.

Les feuilles sont alternes, sessiles ou à pétiole développé, simples, palmatilobées ou non .

Les inflorescences sont monoïques, rarement dioïques, en racèmes ou en panicules, terminales ou à l'aisselle des feuilles supérieures, généralement composées de une à plusieurs fleurs femelles basales longuement pédicellées et de nombreuses fleurs mâles à pédicelle plus court.

Les fleurs mâles sont relativement petites, à calice campanulé ou tubuleux, pétales nuls, 10 étamines disposées en deux verticilles libres à déhiscence longitudinale.

Les fleurs femelles sont relativement grandes, à calice identique à celui des fleurs mâles, pétales nuls, ovaire trilobulaire, un ovule par loge, styles lobés.

Les fruits sont des capsules déhiscents à trois loges comprenant chacune une graine. Les graines sont ovales et grossièrement triangulaires en coupe transversale. Elles portent une caroncule, croissance apicale du tégument.

. 1.2. Systèmes de reproduction

Le manioc est une plante multipliée par voie végétative au moyen de boutures de tiges, mais qui est également capable de se reproduire par voie générative.

L'inflorescence du manioc est une panicule. Les fleurs femelles peu nombreuses sont situées à la base de l'inflorescence. Les fleurs mâles plus nombreuses sont situées au sommet de l'inflorescence.

Dans une même inflorescence, les fleurs femelles commencent à s'ouvrir plusieurs jours avant les fleurs mâles. La viabilité du pollen est de l'ordre d'une semaine, la réceptivité des stigmates est d'environ 24 heures.

La fécondation est principalement entomophile (abeilles). Le taux de fécondation croisée est élevé.

• Pollinisation artificielle

Celle-ci est nécessaire dans les travaux d'amélioration à cause du taux élevé de fécondation croisée.

Pour pratiquer la pollinisation artificielle, on repère une inflorescence. On en élimine toutes les fleurs mâles et éventuellement les fleurs femelles déjà ouvertes. Ensuite, l'inflorescence est ensachée dans un sac en papier sulfurisé. Des anthères mâles sont recueillies sur le géniteur mâle et déposées sur les stigmates des fleurs femelles. Après fécondation, les fruits mûrissent en 75 à 90 jours. Les graines sont récoltées au moment de la déhiscence des capsules.

0.1.3. Critères de sélection

Le but final de toute amélioration variétale est de créer des plantes associant à des rendements élevés des caractères utiles. Chez le manioc, on recherchera une forte productivité en matières utiles, c'est-à-dire en amidon, par unité de surface et par unité de temps.

On obtiendra des variétés productives et précoces en cumulant des facteurs qui conditionnent ces caractères (ramification tardive, entre-nœuds courts, longue durée de vie des feuilles, bon indice de récolte, etc.).

On cherchera également à améliorer la résistance aux maladies et principalement:

- _ la résistance à la mosaïque (*African mosaic disease*, AMO) _ la résistance à la bactériose (*Cassava bacterial blight*, CBB)
- _ la résistance à la virose à stries (*Cassava brown streak virus*, CBSY).

Quant à la résistance aux insectes, elle concerne entre autres: - la

cochenille des racines (*Aonidomytilus albus*)

- la cochenille des feuilles (*Phenacoccus manihoti*)

- les acariens (*Mononychellus tanajoa*).

L'amélioration de la qualité des produits concerne principalement la diminution des teneurs en glucoside cyanogénétique et le comportement au stockage. Ces objectifs font l'objet de programmes importants dans de nombreux pays tropicaux. L'améliorateur recherchera donc un phénotype idéal de plant de manioc avec:

- une seule tige émise par la bouture,
- un fort rapport pondéral racines/tiges,
- une tige peu ou tardivement ramifiée,
- _ un indice de surface foliaire compris entre 3 et 3,5,
- _ des entre-nœuds courts et une hauteur de plante limitée à 2 m, - une grande surface unitaire des feuilles,
- une longue vie de feuilles,
- environ 8 tubercules,
- _ des tubercules assez gros, compacts, courts, sans pédoncule, faciles à écorcer.

.1.4 . Méthodes de sélection

Chez le manioc, l'allogamie est de règle. Cela signifie que le degré d'hétérozygotie du manioc est en général élevé et que l'autofécondation conduit à une

très grande variabilité dans la descendance (dérive génétique). Celle-ci produit des effets dépressifs montrant les relations existant entre l'hétérozygotie d'un matériel et son bon développement (vigueur hybride).

Les méthodes utilisées en sélection sont les suivantes: •

Introduction de matériel étranger

L'introduction de cultivars étrangers dans une région et la sélection de ceux qui s'y adaptent le mieux est une technique d'amélioration à la fois simple et peu coûteuse.

• Introduction de descendance hybrides

L'introduction de semences provenant de croisements dirigés a l'avantage d'introduire une grande variabilité en réduisant les risques d'introduire des maladies et des ennemis. Cette approche nécessite simplement des aménagements pour la germination des graines et la transplantation des jeunes semenciers.

• Hybridations

Hybridations intraspécifiques

Elles sont utilisées chez le manioc pour créer une variabilité génétique plus large. Les cultivars sont hétérozygotes, les descendance après hybridation également. Chaque graine hybride devient donc un "cultivar" potentiel.

La technique la plus efficace pour améliorer le manioc dans un cadre intraspécifique est de sélectionner des parents supérieurs dans l'espèce *M. esculenta* et d'évaluer les descendance hybrides des croisements dirigés.

Hybridations interspécifiques

Nombreuses sont les espèces du genre *Manihot* qui peuvent être hybridées avec les variétés de *M. esculenta* et permettre ainsi l'introgession de caractères intéressants dans l'espèce cultivée. Il s'agit de : *M. oUgantha* subsp. *nesteu*, *M. tri partita*, *M. anomala*, *M. zethneri*, *M. tomentosa*, *M. tristis* subsp. *saxieola*, *M. glaziovii*, *M. eaerulescens*, *M. stipularis*, *M. proeumbens*, *M. gracilis*, *M. diehotoma*, *M. eartinga*.

.1.5. Nouvelles technologies appliquées à l'amélioration du manioc Une certaine image de la diversité génétique du manioc est aujourd'hui obtenue grâce aux marqueurs moléculaires utilisés.

Les biotechnologies peuvent augmenter la diversité génétique dans le manioc suivant deux voies principales.

À court terme, la biotechnologie peut aider les améliorateurs à accéder aux ressources génétiques internationales pour améliorer les performances au champ (production et stabilité de la production) et la qualité du produit.

À long terme, les biotechnologies permettront de créer des nouvelles variétés dans lesquelles les performances au champ et la qualité du produit seront optimisées dans des variétés supérieures.

Des techniques spécifiques pour produire du manioc transgénique sont actuellement en cours. Le manioc est difficile à améliorer par des méthodes conventionnelles et souffre de fortes pertes de productivité dues aux mauvaises herbes, aux ennemis et à des pathogènes divers.

Des chercheurs tentent aujourd'hui de produire des variétés transgéniques dont la quantité et la qualité de l'amidon sont améliorées. Ils tentent également d'augmenter la teneur en protéines de la plante et diminuer la teneur en glucoside cyanogénique, une toxine qu'il faut éliminer des racines avant leur consommation.

. 1.6. Multiplication et diffusion des nouvelles sélections

La multiplication et la diffusion d'une nouvelle sélection de manioc posent deux problèmes principaux : le premier est dû à la lenteur de la multiplication classique à partir de boutures de 20 à 30 cm de long; le deuxième est inhérent à la propagation clonale et aux difficultés qu'elle pose en matière de protection phytosanitaire.

Pour résoudre le premier problème, il a fallu trouver des méthodes de multiplication plus rapide:

- _ Propagation par boutures de feuilles,
- _ Propagation rapide par boutures à deux nœuds, - culture de méristèmes.

Le problème lié à la protection phytosanitaire (virus) peut se résoudre également à partir de cultures de méristèmes et par thennothérapie.

La méthode de culture de plantes *in vitro* conjuguée à la thennothérapie permet des productions de matériel végétal sain sous faible volume.

2 4.2. La patate douce

***Ipomoea batatas* (L.) LAM.**

2n = 90

. 1. Botanique

La patate douce appartient à la famille des *Convolvulaceae* qui comprend environ 45 genres et 1 000 espèces. Elle appartient au genre *Ipomoea* (x = 15) qui comprend environ 400 espèces différentes, herbes volubiles annuelles et pérennes.

Quelques espèces présentent un intérêt économique : -

Ipomoea balalae (L.) LAM. : la patate douce;

- *Ipomoea aquatica* FORSSK. : herbe pérenne et aquatique, dont les feuilles sont utilisées en brèdes, c'est-à-dire bouillies à l'eau comme des épinards;
- *Ipomoea eriocarpa* (R.) BR. : également utilisé comme épinard ..

Quelques espèces sont utilisées en médecine traditionnelle (purgatif ou narcotique).

La patate douce est une plante herbacée pérenne, cultivée comme plante annuelle, avec des tiges volubiles de 1 à 5 m de long, possédant du latex dans tous les organes.

Un système racinaire adventif est produit à partir des nœuds de la tige. Les tubercules se développent par épaissement secondaire des racines adventives.

Les tiges sont prostrées ou remontantes, parfois volubiles.

Les feuilles sont variables, simples, cordiformes entières ou profondément lobées, phyllotaxie 2/5.

Les fleurs sont axillaires, solitaires, ressemblant à celles des liserons, rouges ou violettes.

Les fruits sont des capsules déhiscentes, glabres ou hirsutes qui contiennent jusqu'à 4 graines, dont généralement 1 ou 2 seulement se développent. Les capsules sont noires, anguleuses, glabres.

. .2. Systèmes de reproduction

Dans les tropiques, la plante produit fleurs et fruits. La pollinisation naturelle est pratiquée par des hyménoptères, particulièrement des abeilles.

Presque tous les cultivars sont autostériles. Des graines ne peuvent être obtenues qu'à partir de cultivars allocompatibles cultivés à proximité les uns des autres. L'incompatibilité est homomorphique (de nature interne) et non pas en relation avec des phénomènes d'hétérostylie.

• Incompatibilité et stérilité chez la patate douce

La mauvaise reproduction générative chez la patate douce est due à un système d'auto-incompatibilité double ou triple du type sporophytique multiallèles ainsi qu'à la stérilité exprimée à de nombreux stades, elle-même due à un déséquilibre génétique accompagnant l'hexaploïdie.

Alors que la floraison peut être augmentée par une sélection massale en pollinisation libre, l'incompatibilité et la stérilité n'en sont pas affectées. De ce fait, l'amélioration de la patate douce reste une tâche difficile.

. .3. Génétique

1. *batatas* ($2n = 6x = 90$) proviendrait de *Ipomoea trifida* (KUNTH) G. DON par différenciation génétique, particulièrement en ce qui concerne la formation de racines tubéreuses.

Tous les ancêtres de la patate douce seraient des plantes sauvages (2x, 4x, 6x) ne produisant pas de racines comestibles. La patate douce dériverait de plantes sauvages hexaploïdes par mutation de gènes et augmentation du dosage génique (Figure 9.2).

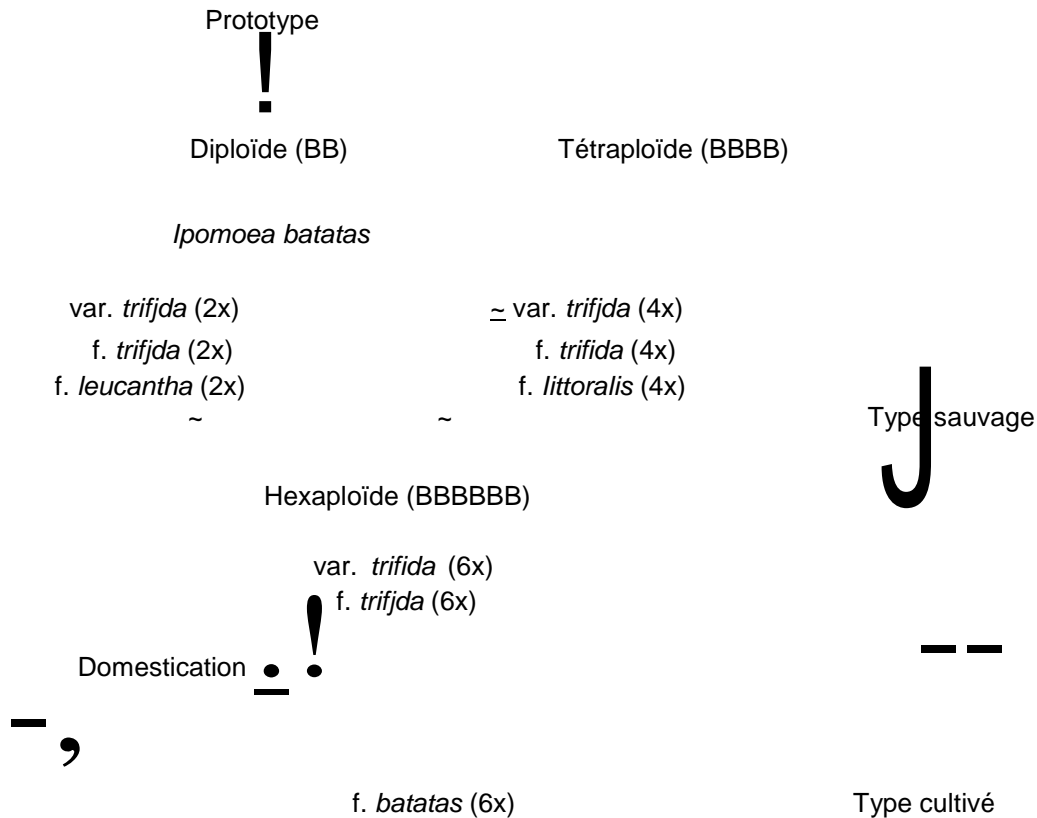


Figure 9.2 - Illustration schématique d'une série de cas d'évolution de la patate douce. Les doubles lignes indiquent le doublement du nombre de chromosomes ($x=15$) (d'après NISHIYAMA, 1971, 1975).

. .4. Critères de sélection

- Teneur en hydrates de carbone

Les tubercules de la patate douce sont riches en hydrates de carbone. La production totale d'hydrates de carbone est directement liée au rendement. Ce dernier devra donc toujours être pris en considération.

- Teneur en vitamines

Vitamine A

La patate douce est une excellente source de provitamine A. Le matériel génétique riche en carotène est facilement disponible à des niveaux élevés.

5 Vitamines du complexe B

La plupart des vitamines du complexe B des patates douces semblent présentes à des concentrations qui varient peu d'un génotype à l'autre. Il semble donc peu judicieux d'intensifier les travaux de sélection dans ce domaine.

Vitamine C

Bien que jusqu'à ce jour, aucun travail de recherche n'ait été entrepris pour augmenter la teneur en acide ascorbique, ce serait chose possible étant donné qu'une variabilité assez importante existe en types compatibles.

• Teneur en sels minéraux

Si la sélection de la patate douce est probablement incapable d'augmenter de façon significative les niveaux de calcium, il semble cependant possible d'accroître les teneurs en fer et en potassium.

• Teneur en protéines

Les effets du génotype sur la teneur en protéine brute sont bien décrits. Des différences significatives entre génotypes existent. Il est possible, par croisements, de créer des cultivars à haute teneur en protéines pour le marché des légumes frais.

Les protéines de la patate douce sont de bonne qualité nutritionnelle mais marginales en lysine et déficientes en soufre total et en tryptophane.

• Résistance aux parasites

Maladies virales

Le virus de la marbrure plumeuse et la souche de la craquelure rousse ne semblent pas poser de problèmes économiques importants. La souche de la subérisation interne est connue en Afrique orientale, en Afrique du Sud et surtout aux États-Unis. Des résistances variétales auraient été observées aux États-Unis.

Maladies fongiques

- *Fusarium oxysporum* (flétrissure) existe dans pratiquement toutes les zones de production de la patate douce. C'est une maladie fongique majeure. La résistance à la flétrissure serait un caractère quantitatif régi par six gènes additifs. Une hérédité transgressive aurait été signalée dans certains croisements.

Ceratocystis fimbriata (pourriture noire)

Il n'existerait pas de source connue de résistance à la maladie qui se rapproche de l'immunité, mais il existe certains cultivars plus résistants que d'autres. Six cultivars résistants proviendraient d'Amérique du Nord, cinq du Pérou et un d'Équateur.

- *Streptomyces ipomoea* (pourriture du sol ou variole)

La résistance à la pourriture du sol est un critère de sélection important à cause de l'importance de la maladie. Des extrêmes de sensibilité peuvent exister par rapport à cette maladie. Celle-ci comporte deux phases : la phase de la radicule qui affecte la croissance des tiges et le rendement total, et la phase variole qui est caractérisée par des lésions sur les racines de stockage. La résistance aux deux phases pourrait bien être d'origine génétique différente.

- *Monilochaetes illufuscallis* (pellicules)

Il ne semble pas exister de source utile de résistance à cette maladie et aucune recherche de cultivars résistant aux pellicules ne serait effectuée. Il est d'ailleurs facile de lutter contre cette maladie par la rotation culturale, la lutte phytosanitaire et l'emploi de matériel de plantation sain.

Dégâts de nématodes

Le genre *Meloidogyne* pose de sérieux problèmes dans les zones de production de la patate douce. La résistance de certains cultivars serait due à un exsudat de la racine. Les programmes de sélection continuent à mettre l'accent sur la recherche de la résistance aux nématodes. Certains pensent que la résistance est un caractère quantitatif partiellement dominant, régi par plusieurs gènes.

Dégâts de charançons

Il existe deux espèces de charançons qui s'attaquent à la patate douce: *Cylas jormicarius* (FAS.) (pantropical) et *Cylas puncticollis* BOH. (Afrique tropicale). Ces charançons sont les insectes les plus nuisibles pour la production des patates douces dans les pays tropicaux et subtropicaux. Ils attaquent les racines de réserve, les feuilles et les tiges, mais leur reproduction a surtout lieu dans les racines de réserve. Celles-ci sont moins attaquées si elles sont situées en profondeur. La compréhension des rapports entre le plant de patate douce et le charançon est un préalable nécessaire pour le criblage du matériel en sélection pour la résistance au charançon. Beaucoup de clones de patate douce résistants aux charançons ont été identifiés et leur résistance transmise à des cultivars et à des populations.

7.5. Méthodes de sélection

Rappelons d'abord qu'une fructification et une graine défectueuses sont les obstacles majeurs rencontrés dans les programmes d'amélioration de la patate douce.

Les étapes de la sélection sont reprises ci-après. •

Introduction de matériel génique

C'est la première démarche dans l'amélioration de la patate douce, mais il est rare que ces variétés introduites soient suffisamment performantes pour être choisies directement pour la culture commerciale.

• Mutation et sélection

Étant donné que la patate douce est une plante à racines qui se propage par voie asexuée, les mutations naissent généralement au niveau des racines ou du feuillage.

Rappelons qu'au début du XX^e siècle, avant le perfectionnement des techniques d'induction florale, la sélection de types mutants de patate douce était la seule méthode pouvant être utilisée pour changer leur constitution génétique. Malheureusement, la plupart des mutants chez la patate douce sont régressifs. L'utilisation des mutagènes (rayons gamma) n'a jamais permis d'obtenir des mutants intéressants.

• Hybridation et sélection de clones autofertiles

Des programmes axés sur différents objectifs ont permis de créer un grand nombre de cultivars diffusés un peu partout dans le monde.

Autofécondation

Si, en général, les patates douces sont des plantes autostériles, un petit nombre de variétés et de clones se sont montrés autofertiles. La vigueur ne serait pas ou que peu diminuée par consanguinité. Les descendances de ces autofécondations, suite à la nature hétérozygote du matériel de départ, présentent une grande variabilité (forme de la feuille, couleur de la chair, couleur de la peau, forme de la racine, etc.).

Pollinisation libre

C'est un processus de pollinisation actuellement utilisé. Le maintien d'une population de grande taille peut, en effet, éliminer le handicap des stérilités et des incompatibilités. Mais il est essentiel qu'un grand nombre de groupes d'incompatibilité soit inclus dans la population en panmixie pour la sélection de masse.

8 Vigueur hybride

Malgré la constatation que la vigueur n'est pas ou peu diminuée par consanguinité, un degré peu commun de vigueur hybride peut exister chez la patate douce. Certains hybrides présenteraient des rendements élevés, se montreraient très vigoureux, résistants aux brûlures du soleil, à la talure et aux organismes causant la pourriture. Leur perte de poids au cours du stockage serait réduite.

Induction florale

Il a été montré que l'écorçage annulaire, le greffage, des jours de courte durée ou encore deux de ces traitements combinés peuvent donner de bons résultats dans l'induction florale.

Le groupement d'incompatibilité

Avant d'effectuer les croisements, il y a lieu de déterminer à quels groupes d'incompatibilité appartiennent les variétés ou les plants utilisés comme parents. Des fleurs de chaque variété ou plant parental destiné à être utilisé comme parent femelle sont pollinisées tour à tour par un membre de chaque groupe d'incompatibilité. Les stigmates et les styles des fleurs pollinisées sont récoltés deux à trois heures après la pollinisation, et la germination du pollen et la croissance du tube pollinique sont observées avec, comme critère de classification, la coloration obtenue à l'aide d'une solution de lactophénol avec le colorant coton bleu (ou fuschine acide). Un pollen défaillant qui ne germe pas indique que les deux variétés ou clones croisés appartiennent au même groupe d'incompatibilité. Il existerait probablement cinq groupes d'incompatibilité.

La scarification de la graine et la conservation

L'enveloppe de la graine est imperméable à l'eau, aussi la germination des graines non traitées peut demander plusieurs mois. La scarification est un moyen efficace pour provoquer une émergence rapide de la plantule. L'utilisation d'acide sulfurique peut également faciliter la germination.

Bien stockées, les graines peuvent conserver leur pouvoir germinatif pendant plusieurs années.

- Évaluation des sélections

Criblage des boutures

Le criblage est basé sur les caractères essentiels de rendement, de couleur de peau et de chair, de forme des racines, du nombre de racines consommables, de

formation de veines et de craquelures de croissance, de même que sur la résistance aux maladies et aux insectes. Un second criblage est effectué sur la base du pourcentage de cossettes sèches et sur le goût.

Essais comparatifs

Les clones sélectionnés sur les observations précédentes sont mis en essais comparatifs avec une variété témoin, pendant au moins deux ans. On adopte généralement un dispositif en blocs aléatoires complets avec quatre ou six répétitions. La parcelle élémentaire est relativement petite avec une simple ligne de plantation de 8 m. Chaque parcelle contient 32 plants. Pour chaque clone, les caractères essentiels sont notés de même que les facteurs liés au rendement.

Essais avancés

Ils peuvent commencer à partir de la cinquième ou de la sixième année et durer au moins deux ou trois années supplémentaires. Il est rare que plus de 15 clones (témoin inclus) sortent de l'essai comparatif. Le dispositif est généralement le même. La parcelle peut être élargie de une à deux lignes. À l'issue de cet essai, deux ou trois clones qui présentent un rendement et d'autres caractères quantitatifs très stables sont choisis pour des essais régionaux.

Essais régionaux ou d'adaptabilité

Les clones utilisés dans ces essais proviennent généralement de diverses organisations de recherche. Des variétés locales ou traditionnelles doivent y figurer comme témoins. Un dispositif en blocs aléatoires complets à quatre répétitions est habituellement adopté. Ces essais doivent être poursuivis pendant un certain nombre d'années (trois ans). La réponse des clones aux conditions locales (climat, sol, maladies, ennemis, etc.) doit être sérieusement observée.

. . 6. Nouvelles technologies appliquées à l'amélioration de la patate douce

On peut espérer que des progrès dans l'amélioration génétique de la patate douce se manifesteront bientôt grâce à l'implication de plus en plus grande de la culture *in vitro* dans les processus d'amélioration.

Les haplométhodes (cultures d'anthères et d'ovules) et les tests sur lignées isogéniques apporteront peut-être des progrès intéressants dans le futur.

Quant à la transgénèse appliquée aux patates douces, par introduction directe de gènes dans des cellules de variétés élites, elle apportera très certainement des

résultats intéressants quant à l'amélioration de la résistance de ces clones aux principales maladies rencontrées.

En 1996, Monsanto a démarré une collaboration avec des scientifiques du Kenya pour produire des patates douces transgéniques résistantes au F.M.V. (*Feathery Mottle Virus*).

. 7. Multiplication et diffusion du matériel sélectionné

• La pépinière

La réalisation d'une pépinière de boutures doit être recommandée. Parfois même une pré-pépinière sera mise en place. On y plantera des tubercules pour fournir, après six semaines, des rejets qui constitueront le matériel de la pépinière aux boutures.

Les pépinières sont fréquentes dans les régions à saison sèche relativement froide. Ces pépinières doivent être sérieusement contrôlées quant à l'absence de nématodes, en particulier le *Meloidogyne*. Les superficies des pépinières sont de l'ordre du dixième de la surface à cultiver. Quant aux clones différents, ils seront séparés d'une petite dizaine de mètres. Une fertilisation NPK est généralement apportée à la pépinière.

La pépinière fournit généralement trois coupes de boutures de 25 à 35 cm de long prélevées à environ 20 cm de hauteur de la plante. Le délai de stockage de bouture ne dépassera pas six jours. Leur désinfection se fera au maximum 24 h avant la mise en place.

• La micropropagation

La diffusion de nouvelles variétés ou de variétés étrangères se pratique de plus en plus couramment au moyen de vitroplants préparés à cet effet. Ces plantules transmises en tubes scellés sont indemnes de parasites dont la présence est incompatible avec la survie de la reproduction végétative *in vitro*.

Cette culture *in vitro* se réalise suivant des techniques bien précises:

- la plante-mère est préalablement cultivée sous abri dans des conditions sanitaires optimales;
- _ on prélève sur des plantes âgées de deux à trois mois des jeunes tiges feuillées; _ ces tiges feuillées sont sectionnées en boutures d'un nœud de 2 à 3 cm de long et ne conservant que la base du pétiole;'
- ces boutures sont désinfectées;

- _ elles sont ensuite transférées dans des tubes contenant des milieux gélosés nutritifs équilibrés (15 jours sur milieu d'initiation, 60 jours sur milieu de croissance) ;
- _ elles seront finalement transplantées en milieu de microbouturage, pour un nouveau cycle, ou en milieu de conservation *in vitro*.

Ces vitroplants, au cours du transport, peuvent supporter deux à trois semaines d'obscurité. Ils seront exposés à une lumière diffuse dès leur arrivée et cela pendant une semaine. Quant aux procédures de passage au champ, elles nécessiteront souvent un séjour en serre afin de tempérer les variations climatiques par brumisation et exposition progressive aux conditions naturelles.

La culture *in vitro* de la patate douce contribue largement à la conservation du plus grand nombre possible de clones et assure leur sécurité sanitaire vis-à-vis des virus.

132 • 4.3. La pomme de terre

Solanum spp.

2n=

Origine et domestication

Le genre *Solanum*, auquel appartient la pomme de terre, est très vaste. La diversité des espèces de la section *Tuberosaria* vivent dans les Andes ; leur classification est difficile, à cause de leur isolement génétique imparfait, de la culture très ancienne de plusieurs formes et de migrations provoquées par l'homme. Les tubercules des *Solanum* sauvages contiennent des alcaloïdes amers et toxiques qui les protègent contre les prédateurs. Une des premières conséquences de cette domestication a été la propagation de formes douces. La domestication initiale a dû se situer sur les hauts plateaux de Bolivie et du Pérou, à une époque mal définie. Des croisements entre deux ou plusieurs espèces biologiquement très proches ont donné des populations autotétraploïdes, autocompatibles et allogames, désignées comme *S. andigena* •

Des petits échantillons de pommes de terre de ce groupe *andigena* ont été introduits en Espagne vers 1570 et en Angleterre, vers 1590. Leurs descendances clonales se sont répandues ensuite dans toute l'Europe, puis en Amérique du nord et dans les autres régions où elles sont cultivées sous le nom de *S. tuberosum* • Les plantes venues des Andes étaient mal adaptées aux régions tempérées : leur tubérisation était tardive, à cause de leur évolution initiale dans des régions à jours courts. C'est pourquoi il a fallu 200 ans pour voir apparaître des clones adaptés aux jours longs, à la fin du dix-huitième siècle, et pour permettre l'extension actuelle de leur culture •

Au dix-neuvième siècle, les pommes de terre se sont de plus en plus différenciées de leur ancêtre, non seulement par cette adaptation aux jours longs, mais aussi par une réduction de la floraison, une augmentation de la surface foliaire, la production de stolons courts, de tubercules moins nombreux, plus gros et plus réguliers •

Amélioration et variétés

Amélioration et variétés

L'extension de la culture de la pomme de terre a facilité l'expansion du mildiou, à partir de 1844, en France, Belgique et Angleterre; en Irlande, la grande épidémie de 1846 a provoqué une famine qui a réduit la population du pays de deux millions d'habitants. Depuis lors, la résistance au mildiou est devenue le principal objectif de la sélection. La sélection massive a déjà permis de conserver des formes relativement tolérantes; dès le milieu du dix-neuvième siècle, les croisements avec des espèces sauvages ont été entrepris pour lutter contre le *Phytophthora* et, ultérieurement, contre d'autres champignons, des virus, bactéries, insectes et nématodes. Actuellement, une forte proportion des variétés cultivées en Europe contiennent des gènes "sauvages" (Hawkes, 1979) •

La sélection de la pomme de terre est cependant difficile, à cause de son origine autotétraploïde de sa forte hétérozygotie et des goûts des consommateurs. Des échecs ont été provoqués par l'adaptation rapide des parasites aux gènes de résistance spécifiques, particulièrement par l'apparition de souches de *Phytophthora* capables de surmonter la résistance introduite à partir de *Solanum demissum*. On a constaté que même la présence simultanée de plusieurs gènes de résistance ne pouvait stabiliser longtemps la résistance à ce parasite et, depuis 1958, la sélection s'est orientée vers une amélioration de la résistance horizontale •

La nécessité d'élargir la base génétique de la pomme de terre cultivée a encouragé la recherche de nouvelles formes andines en Amérique du sud. Certaines proviennent du Chili et sont déjà adaptées aux jours longs. Ces introductions (néo-tuberosum) possèdent une diversité suffisante pour améliorer les clones actuels •

En Afrique centrale (Rwanda, Burundi, Congo-Kinshasa), on trouve en milieu traditionnel de vieilles variétés européennes introduites par les administrations coloniales (Sientje, Eigenheimer, Nervia). Les variétés les plus récentes proviennent d'Amérique centrale (Montsama, Sangema, Condea, Atsimba) et du CIP (Cruza ou Ndinamagara tolérantes à la bactériose, Rukinzo ugandall et Mabondo tolérantes au mildiou). Le *germplasm* du CIP est largement utilisé par les programmes nationaux d'amélioration de la pomme de terre: les clones possédant une résistance spécifique à la bactériose, au mildiou, à l'alternariose sont demandés. Des clones possédant une courte période de dormance (plantation du mois de mars avec des plants récoltés en décembre), une bonne aptitude au stockage sont également recherchés.

En Afrique de l'Est (Kenya, ouganda), les variétés anglo-saxonnes à chair blanche sont plus représentées: il s'agit de Kerr's Pink, Roslin, Anett, Pimpernel et Up-to-Date.

Désirée, variété hollandaise, est également présente.

En Afrique de l'Ouest, des variétés européennes précoces à mi-précoces comme Sahel, Claustar, Ostara, Spunta, Lola, Première, Kondor et Désirée sont rencontrées. Des variétés résistantes à la chaleur, présentant une bonne aptitude au stockage, une tolérance à l'alternariose, au mildiou sont recherchées.

Perspective d'avenir

La culture de la pomme de terre se répand rapidement dans les régions tropicales d'Asie, Afrique et Amérique du sud surtout à haute altitude, mais aussi vers les plaines. Les clones adaptés aux régions tempérées conviennent mal. L'introduction de matériel originaire du nord des Andes jouera probablement un rôle important dans la création de nouvelles variétés pour ces régions.

Il semble que la productivité maximum de la pomme de terre (autotétraploïde) soit atteinte lorsque, pour de nombreux locus, les quatre exemplaires du gène sont représentés par des allèles différents. A condition d'éviter des allèles dominants indésirables, il serait donc avantageux d'accroître l'hétérozygotie en réunissant des allèles actuellement dispersés (Glendinning, 1979). Wenzel et al. (1979) ont décrit un schéma qui pourrait atteindre cet objectif, en appliquant plusieurs techniques initialement mises au point pour d'autres solanacées comme le tabac. A partir de diverses formes tétraploïde, il n'est pas difficile d'obtenir des diploïdes (dihaploïdes), après pollinisation par des espèces sauvages. Une seconde réduction du nombre-chromosomique est possible par culture d'arithères. Les diploïdes homozygotes produits peuvent être ensuite sélectionnés pour un certain nombre de caractères et croisés entre eux pour donner des hétérozygotes. Enfin, la fusion des protoplastes et la régénération de plants tétraploïdes sont proposées pour créer de nouvelles formes tétra-, géniques. Un tel schéma est réaliste, car chacune des étapes a déjà été accomplie séparément.

Des recherches sont également entreprises, au CIP (Centro Internacional de la Papa) en vue de sélectionner des populations hybrides qui seraient propagées par graines. Cela permettrait d'éviter la transmission des maladies avec les clones et améliorerait l'adaptabilité des variétés. Le maintien de l'uniformité des populations issues de graines serait possible si l'apomixie était introduite ; on a déjà découvert des gènes permettant la partenogenèse et la pseudogamie/ mais il faudrait encore obtenir la suppression de la première division méiotique et induire le développement de l'albumen sans fécondation: ces objectifs ne sont pas utopiques (Hermsen, 1980).

6 Description

Le haricot commun, *Phaseolus vulgaris* L., appartient à la sous-tribu des Phaseolinae, tribu des Phaseoleae, famille des Papilionaceae (ou Fabaceae) et ordre des Leguminosales (ou Fabales). Comme chez la plupart des autres espèces de la sous-tribu des Phaseolinae, le nombre chromosomique est $2n = 22$.

P. vulgaris est une plante herbacée annuelle avec un système racinaire pivotant caractérisé par de nombreuses ramifications latérales et adventives, le plus souvent localisées en superficie.

La germination est épigée (les cotylédons émergent au-dessus du sol). Les feuilles primaires des plantules sont simples, opposées, pétiolées, stipulées et souvent stipellées. Les stipules sont des appendices foliacés insérés par deux à la base du pétiole tandis que les stipelles sont des appendices insérés par deux à la base de la feuille.

Les feuilles adultes, également stipulées, stipellées et pétiolées, sont alternes et trifoliolées. Leurs pétioles canaliculés comportent trois parties avec un pulvinus proximal et distal (respectivement première et dernière partie renflée), responsable du mouvement de nyctinastie des feuilles, c'est-à-dire de l'orientation en fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires. L'orientation des feuilles s'explique par des mouvements de turgescence dus à l'augmentation de la perméabilité des membranes cytoplasmiques et à l'infiltration du suc vacuolaire dans les espaces intercellulaires.

Les inflorescences sont des pseudoracèmes: elles ont l'aspect de grappes simples portant sur le rachis plusieurs fleurs géminées de couleur blanche, rose, pourpre ou violette. En réalité, ces fleurs sont insérées sur des axes latéraux très contractés, qui cessent de croître après la formation de deux ou trois nœuds. Le calice est campanulé avec cinq sépales soudés tandis que la corolle est papilionacée, avec un étendard prononcé au dos de la fleur, des ailes de chaque côté et la carène formée de deux petits pétales

soudés. Les étamines sont diadelphes (9 étamines soudées et une libre) et disposées en deux cycles. L'ovaire comprimé latéralement contient 4 à 12 ovules. Le style est spiralé et le stigmate terminal est dirigé adaxialement.

La structure florale, l'anthèse avant l'ouverture de la fleur et la réceptivité éphémère du stigmate favorisent l'autogamie; le taux d'allogamie naturelle variant entre 1 et 3%. Les variétés traditionnelles fleurissent en jours courts.

Les gousses sont linéaires, rectilignes ou plus fréquemment recourbées et terminées par un bec. Leur structure fibreuse détermine la nature de l'organe consommé. Les gousses à fil et à parchemin peuvent être plates et courtes, comme chez les haricots grains ou *dry beans*, ou longues de section ronde, comme chez les haricots filet ou *string beans*; les haricots grains ont des valves qui s'ouvrent complètement à maturité. Les gousses sans fil et avec peu de parchemin peuvent être vertes, comme chez les mange-tout verts (*snap beans* ou *French beans*) ou jaunes comme chez les mange-tout beurres (*wax beans*). Les gousses de mange-tout peuvent être récoltées plus tardivement pour la consommation que celles du haricot filet.

Le fruit contient un nombre très variable de graines (4 à 12) de forme ovoïde, subsphérique ou réniforme et de couleur noire, brune, jaune, rouge, blanche ou marron, avec des marbrures de couleur et de dessin également très variés. A maturité, la graine de haricot ne possède pas d'albumen; les réserves nutritives sont essentiellement emmagasinées dans les cotylédons qui représentent 90% de la graine.

Comme chez toutes les papilionacées, le haricot commun est capable de fixer l'azote atmosphérique grâce à la symbiose avec des bactéries telluriques appartenant principalement à l'espèce *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli*. En présence de variétés compatibles et de conditions écologiques et culturelles favorables, ces bactéries pénètrent dans les poils radiculaires et induisent la formation de nodosités, siège de la fixation symbiotique. Celle-ci convertit l'azote atmosphérique en ions ammonium qui seront ultérieurement convertis en acides aminés. L'activité photosynthétique de la plante fournit l'énergie nécessaire à ce processus qui contribue à la richesse en protéines du feuillage mais surtout des graines. Tous les nodules ne sont pas actifs dans la fixation symbiotique. Les nodules actifs ont en général une coloration interne rouge ou rose due à la présence de leghémoglobine (pigment de nature protéique contenant du fer et pouvant fixer de façon réversible l'oxygène). Une symbiose efficace entre la légumineuse et la bactérie peut fournir près de 70 kg d'azote par ha et, dans la plante, l'azote fixé peut représenter 70 à 80% de l'azote contenu dans les tiges et dans les feuilles. L'aptitude à la fixation azotée est cependant plus faible et plus variable, en

moyenne, chez le haricot commun, comparativement à d'autres légumineuses alimentaires, telles que le niébé, le soja et l'arachide, considérés comme très bonnes fixatrices.

8 Classification

≡

On distingue deux habitus de croissance, avec pour chaque habitus, plusieurs formes suivant le type de développement de la partie terminale de la tige principale, suivant le nombre de nœuds, suivant la longueur des entre-nœuds et, en conséquence, la hauteur de la plante, suivant l'aptitude à grimper et suivant le degré et le type de ramification.

Ces habitus et formes de croissance dépendent de facteurs génétiques mais aussi écologiques, en particulier de la température et de la photopériode.

Habitus de croissance apparemment déterminée

Les inflorescences sont en position terminale et axillaire sur la tige principale et les ramifications latérales; les premières fleurs apparaissent au sommet de la plante et la floraison se fait dans le sens descendant, du sommet vers la base de la plante. Cet habitus comporte deux types (I et II).

Les plantes de type I se caractérisent par un nombre limité de nœuds: 3 à 7 sur la tige principale avant l'apparition de l'inflorescence terminale. Les ramifications latérales sont peu nombreuses et partent des premiers nœuds de la tige principale. Le port est érigé. Ce type de croissance correspond au haricot nain avec des entre-nœuds courts et une hauteur réduite de la plante (30 à 50 cm). Le cycle cultural est très court.

Les plantes de type II sont naines aussi, avec des entre-nœuds qui peuvent être courts ou longs. Le nombre de nœuds sur la tige principale est plus élevé (7 à 15) que celui observé sur les plantes de type I. La production de nœuds peut continuer après la floraison. Les ramifications latérales restent en nombre limité et partent essentiellement des premiers nœuds de la tige principale .. Le port est érigé et la hauteur des plantes peut atteindre 50 à 70 cm. Le cycle cultural est plus long que celui des plantes de type I.

9 Habitus de croissance indéterminée

Les inflorescences sont en position axillaire sur la tige principale et les ramifications latérales; les premières fleurs apparaissent en position médiane sur la plante et la floraison se réalise dans le sens ascendant, du bas de la plante vers le sommet. Cet habitus comporte deux types (III et IV).

Les plantes de type III produisent un nombre moyen à élevé de nœuds après la floraison ainsi qu'un nombre variable de ramifications latérales, partant principalement de la base de la tige. Certaines ramifications latérales sont aussi longues que la tige principale. Celle-ci atteint une longueur variant entre 70 et 130 cm avec de longs entre-nœuds. Le port de la plante est parfois érigé mais le plus souvent prostré ou semi-volubile.

Les plantes de type IV sont volubiles ou grimpantes et produisent un nombre élevé de nœuds après la floraison. Les ramifications latérales sont plus courtes que la tige principale. Celle-ci, caractérisée par de longs entre-nœuds, atteint une longueur variant de 160 à 250 cm. Les gousses peuvent se répartir uniformément le long de la tige principale ou se concentrer dans la partie supérieure de la plante. Les haricots de type IV doivent être tuteurés.

et variétés

Dans les exploitations traditionnelles, l'amélioration génétique du haricot commun se heurte à de nombreux problèmes en raison de la multiplicité des objectifs poursuivis. Les critères de sélection sont divers: augmentation et stabilité de la production en graines, adaptation à l'association culturale ou au mélange variétal, une meilleure efficacité dans la fixation symbiotique de l'azote, une résistance génétique multiple aux maladies et ravageurs, une amélioration de la capacité photosynthétique de la canopée,

une tolérance ou résistance vis-à-vis de l'acidité du sol, de la sécheresse et de la salinité, sans oublier les critères de qualité et d'acceptabilité de la graine comme la dimension, la forme, la couleur, les teneurs et la digestibilité des protéines, l'élimination des facteurs antinutritionnels et de flatulence et la diminution de la durée de cuisson.

Les premiers travaux de sélection du haricot ont débuté dans les années 1950 à 1960 en Ouganda, en Tanzanie, au Kenya, dans les ex-colonies de la Belgique (Congo-Kinshasa, Rwanda, Burundi). A partir de collections génétiques très limitées, ces travaux ont adopté des schémas de sélection très classiques, habituellement utilisés pour les espèces autogames: la sélection massale et la reprise en lignées pures sont utilisées à partir de populations suffisamment hétérogènes tandis que la sélection généalogique (ou méthode *pedigree*), la sélection par rétrocroisements (ou méthode *back-cross*) et la sélection des populations hybrides (ou méthode *bulk*) sont utilisées à partir d'hybrides intervariétaux.

Un effort est actuellement entrepris sous l'égide du CCIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research*) pour intensifier les recherches en amélioration des légumineuses vivrières. Pour *P. vulgaris*, ces recherches sont réalisées avec l'appui du CIAT (*Centro Internacional de Agricultura Tropical* - Cali, Colombie). Des programmes régionaux ont été mis en place par ce centre avec plusieurs instituts nationaux de l'Afrique centrale, orientale et australe (Kenya, Tanzanie, Ouganda, Rwanda, Burundi, Congo-Kinshasa, Malawi, Zimbabwe) afin d'assurer une plus grande efficacité des diverses actions entreprises.

Les objectifs sont définis en fonction des contraintes de chaque zone agroécologique ciblée. Afin d'identifier les génotypes parentaux les plus intéressants, des évaluations systématiques sont menées au sein de la collection mondiale de base du CIAT, constituée de 35.000 introductions englobant formes sauvages et cultivées du haricot commun ainsi que des espèces phylétiquement apparentées. Des sources de résistance ont ainsi été trouvées pour les nombreuses maladies sévissant en Afrique comme l'antracnose, les taches anguleuses, la rouille et la bactériose commune. A partir de ce matériel, les travaux d'amélioration visent à favoriser le brassage génétique entre génotypes d'origine géographique éloignée. On adopte aussi des schémas de sélection moins traditionnels, comme la sélection cumulative qui alterne les phases de sélection, autofécondation et recombinaison. Les programmes régionaux mis en place par le CIAT facilitent aussi la constitution de réseaux et l'échange du matériel élite entre plusieurs pays africains, notamment grâce à l'établissement d'essais internationaux d'adaptation et de rendement.

Le but final des recherches en amélioration du haricot commun est de mettre à la disposition des petits exploitants non pas des lignées pures mais des cultivars améliorés caractérisés par une plasticité génétique suffisante. Cette dernière est indispensable pour garantir la stabilité des rendements dans des systèmes culturaux intensifiés où la pression de sélection des contraintes écologiques tend à s'accroître considérablement. La sélection génétique ne pourra cependant donner des résultats significatifs que si parallèlement des travaux sont conduits pour l'amélioration des conditions phytotechniques de la plante, de la fertilité du sol et surtout de la protection et de la production semencière.

Actuellement, les cultivars améliorés de *P. vulgaris* diffusés dans les régions d'Afrique centrale et orientale proviennent principalement de travaux menés sur une base génétique insuffisamment étendue: Banja 2 et K 20 créés en Ouganda, P 304 et T 23 créés en Tanzanie, Carioca, BAT 331 et Nep 2 sélectionnés en Zambie, Karama 1/2 (type 1), Calima (type 1), PVA 779 (type 1), HM 21-7 (type 1), A 321 (type III), Aroana (type III), H 75 (type III), A 410 (type III), PVA 1186 (type 111), Urubonobono (type III), Fior de Mayo (type IV), Cuarentino (type IV), Muyinga-I (type IV), provenant de la sélection au Burundi. Toutes ces variétés sont essentiellement cultivées pour la production de graines sèches.

V. AMELIORATION DES LEGUMINEUSES

ALIMENTAIRES

5.1. Le haricot commun

Phaseolus vulgaris L.

2n =

Origine

La distribution des formes sauvages de *phaseolus vulgaris*, les données archéologiques et les observations de nature morphologique et moléculaire ont mis en évidence pour cette espèce l'existence de trois centres de diversité: le centre méso-américain, du Mexique au Panama, le centre nord-andin comprenant le nord du Pérou, la Colombie et l'Equateur et le centre sud-andin comprenant le centre et le sud du Pérou, la Bolivie et le nord-est de l'Argentine. Dans le Nouveau Monde, *phaseolus vulgaris* est parmi les premières plantes à avoir été domestiquées, 8.000 à 10.000 ans avant les temps présents. Le haricot commun, en particulier, a joué un rôle très important dans l'alimentation et les systèmes culturels traditionnels de toutes les civilisations précolombiennes.

Après la découverte de l'Amérique par C. Colomb, le haricot commun a été diffusé dès le 16^e siècle vers d'autres régions, principalement les Etats-Unis, l'Europe et l'Afrique tropicale, secondairement l'Afrique du Nord et l'Asie. En Afrique tropicale, les variétés traditionnellement cultivées proviennent des divers centres de diversité du Nouveau Monde, mais principalement des centres andins. Elles ont suivi soit une route directe, des Andes vers la côte africaine, soit une route indirecte, transitant par la péninsule ibérique ou l'Europe de l'Ouest avant d'atteindre l'Afrique.

Bien que cultivée dans des régions tropicales, subtropicales, subéquatoriales et tempérées, cette espèce est considérée surtout comme la légumineuse alimentaire principale des régions d'altitudes moyennes de l'Amérique latine et de l'Afrique centrale et orientale.

VI. AMELIORATION D'UNE PLANE TEXTILE 1

6.1. Le Cotonnier

Gossypium spp.

$2n = 26$; $2n = 52$

.1.1. Botanique

Le cotonnier appartient à la classe des dicotylédones dialypétales, à l'ordre des Malvales, à la famille des *Malvaceae*, à la tribu des Hibiscées, au genre *Gossypium*.

La classification génomique telle qu'elle est admise à présent coïncide d'une manière précise avec leur répartition géographique (**Figure .. 1**).

L'origine des différents génomes est la suivante:

A : espèces cultivées originaires d'Afrique et d'Asie B :

espèces sauvages originaires d'Afrique

C : espèces sauvages originaires d'Australie

D : espèces sauvages originaires d'Amérique

E : espèces sauvages originaires d'Afrique de l'Est et du Moyen-Orient F :

espèces sauvages originaires d'Afrique de l'Est

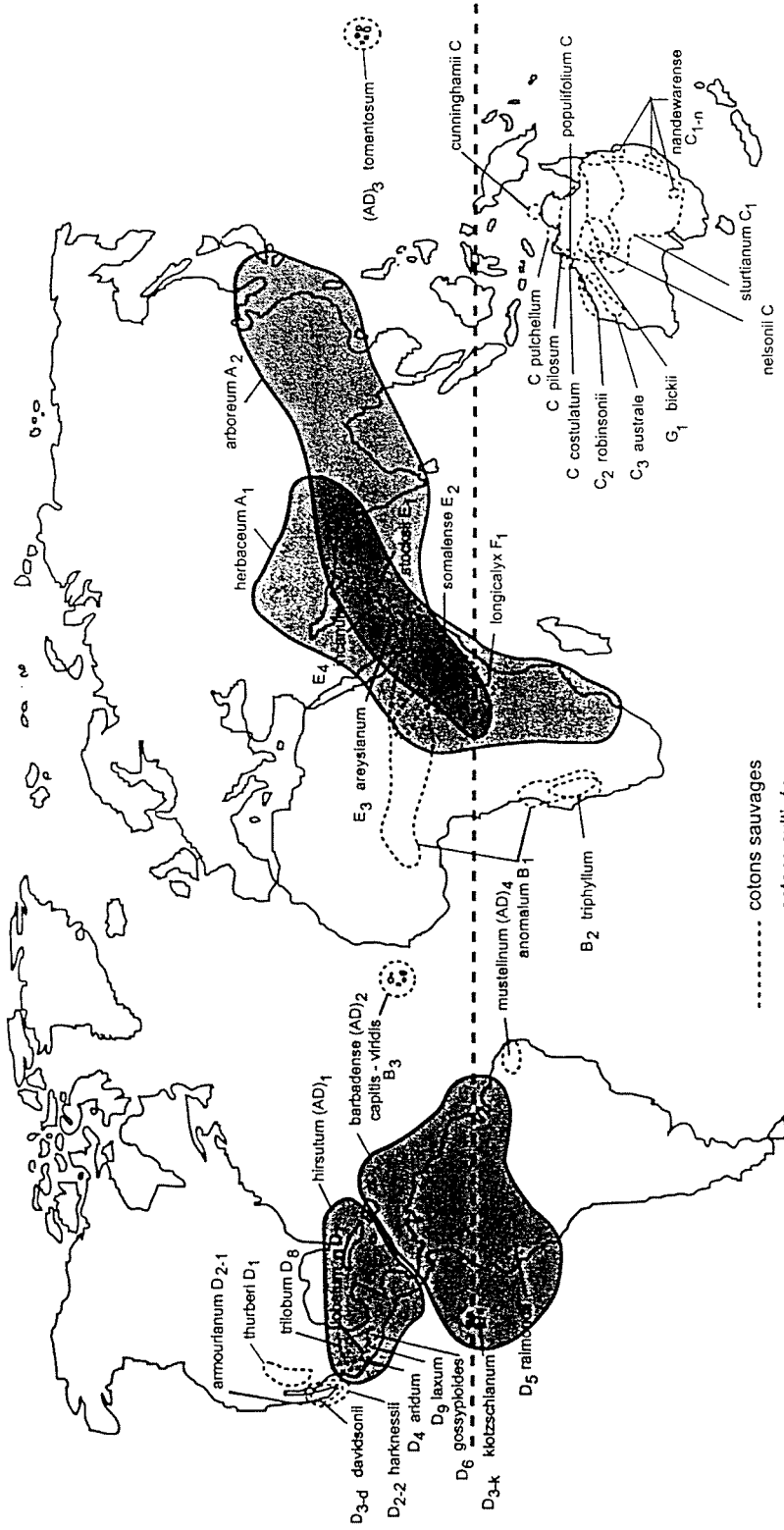


Figure 1 — La répartition géographique des espèces du genre *Gossypium* d'après NDUNGO *et al.* [1988].

G : espèces sauvages originaires d'Australie

AD : espèces cultivées et sauvages originaires d'Amérique.

Le genre *Gossypiu/II* comprend 33 espèces diploïdes ($2n = 26$) et cinq espèces allotétraploïdes ($2n = 52$). Le **tableau.1** reprend la classification botanique selon FRYXELL [1969, 1978] et ENDRIZZI *et al.* [1985].

Tableau.1 - La classification du genre *Gossypiu/II* (d'après FRYXELL 1969, 1978 ; ENDRIZZI *et al.* 1985).

Sous-genre, section et sous-section	Espèce	Génome	Origines
Sous-genre <i>Gossypium</i>			
Section <i>Gossypium</i>			
Sous-section <i>Gossypium</i>	<i>G. herbaceum</i> L.	A ₁	Afrique, Asie
	<i>G. herbaceum</i> var. <i>africanum</i> (WATT) MAUER	A ₁	Afrique
	<i>G. arboreum</i> L.	A ₂	Afrique, Asie
Sous-section <i>Anomala</i> TOD.	<i>G. anomalum</i> WAWRA ex WAWRA et PEYR.	B ₁	Afrique
	<i>G. capitis - viridis</i> MAUER	B ₃	Iles de Cap-Vert
Sous-section <i>Triphylla</i> PROKHANOV	<i>G. triphyllum</i> (HARVEY) HOCHR.	B ₂	Afrique du Sud
Section <i>Pseudopambak</i> PROKHANOV			
Sous-section <i>Pseudopambak</i>	<i>G. stocksii</i> MASTERS ex HOOK.	E ₁	Arabie
Sous-section <i>Erecta</i> DARIEV et VALICEK	<i>G. somalense</i> (GÜRKE) HUTCH.	E ₂	Somalie
	<i>G. areysianum</i> DEFLERS	E ₃	Arabie
	<i>G. incanum</i> (SCHWARTZ) HILLC.	E ₄	Arabie
	<i>G. ellenbeckii</i> (GUERKE) MAUER	-	Afrique de l'Est
Sous-section <i>Longiloba</i> FRYX.	<i>G. longicalyx</i> HUTCH. & LEE	F ₁	Afrique de l'Est
Sous-genre <i>Sturtia</i> (R. BROWN) TOD.			
Section <i>Sturtia</i>			
Sous-section <i>Karpasoidea</i> PROKHANOV	<i>G. sturtianum</i> WILLIS	C ₁	Australie
	<i>G. sturtianum</i> var. <i>nandewarensis</i> (DEREBA) FRYX.	C _{1-n}	Australie
	<i>G. robinsonii</i> MUELL., F.	C ₂	Australie

Tableau .1 (suite)

Section <i>Hibiscoidea</i> TOD.			
Sous-section <i>Hibiscoidea</i>	<i>G. australe</i> MUELL., F.	C ₃	Australie
	<i>G. nelsonii</i> FRYX.	-	Australie
	<i>G. bickii</i> PROKHANOV	G ₁	Australie
Sous-section <i>Grandicalyx</i> FRYX. (1965)	<i>G. costulatum</i> TOD.	-	Australie
	<i>G. pulchellum</i> (GARDNER, C.)- FRYX.	-	Australie
	<i>G. populifolium</i> (BENTH.) MUELL., F. ex TOD.	-	Australie
	<i>G. pilosum</i> FRYX.	-	Australie
	<i>G. cunninghamii</i> TOD.	-	Australie
Section <i>Houzingenia</i>			
Sous-section <i>Houzingenia</i>	<i>G. trilobum</i> (MOCINO & SESSE ex. DC.) SKOVSTED	D ₈	Mexique
	<i>G. thurberi</i> TOD.	D ₁	Mexique, Arizona
Sous-section <i>Selera</i> (ULBR.) FRYX.	<i>G. gossypoides</i> (ULBR.) STANDLEY	D ₆	Mexique
Sous-section <i>Erioxylum</i> (ROSE et STANDLEY) FRYX.	<i>G. aridum</i> (ROSE & STANDLEY) SKOVSTED	D ₄	Mexique
	<i>G. lobatum</i> GENTRY	D ₇	Mexique
	<i>G. laxum</i> PHILLIPS	D ₉	Mexique
Sous-section <i>Caducibracteolata</i> MAUER	<i>G. armourianum</i> KEARNEY	D ₂₋₁	Mexique
	<i>G. harknessii</i> BRANDEGEE	D ₂₋₂	Mexique
	<i>G. turneri</i> FRYX.	-	Mexique
Sous-section <i>Integrifolia</i> (TOD.) TOD.	<i>G. klotzschianum</i> ANDERSSON	D _{3-k}	Iles Galapagos
	<i>G. davidsonii</i> KELLOG	D _{3-d}	Mexique
Sous-section <i>Austroamericana</i> FRYX.	<i>G. raimondii</i> ULBR.	D ₅	Pérou
Sous-genre <i>Karpas</i> RAF.			
	<i>G. hirsutum</i> L.	(AD) ₁	Amérique centrale et du Nord
	<i>G. barbadense</i> L.	(AD) ₂	Amérique du Sud et centrale
	<i>G. tomentosum</i> NUTT. ex SEEMANN	(AD) ₃	Iles Hawaii
	<i>G. mustelinum</i> MIERS ex WATT	(AD) ₄	Brésil
	<i>G. lanceolatum</i> TOD.	-	Mexique

La spéciation intragénomique a eu lieu à des stades chronologiques ultérieurs, d'abord au début du Tertiaire par l'adaptation à un habitat plus aride, puis vers la fin du Pléistocène (Quaternaire) lors du changement climatique provoquant une nouvelle divergence et la création d'espèces vicariantes (*sibling species*) presque indistinctes génétiquement.

À l'intérieur de chacun des groupes génomiques, la spéciation se serait effectuée plus par l'accumulation de différences géniques que par la différenciation chromosomique.

La nature allopolyploïde des cotonniers à 52 chromosomes comprenant des sous-génomes d'espèces très éloignées (A et D) est actuellement admise. À la méiose des allotétraploïdes, on observe un appariement exclusivement en bivalents, c'est-à-dire un comportement similaire à celui des diploïdes. Il y a donc eu, au cours de l'évolution des tétraploïdes naturels, apparition d'un facteur de diploïdisation qui les rend amphidiploïdes.

La forte similarité de *G. herbaceum africanum* (génomme A) avec le subgénomme A des amphidiploïdes est maintenant universellement admise, mais l'espèce parentale donneuse du sous-génomme D est discutée bien que *G. raimondii* soit souvent considéré comme l'espèce qui s'en rapproche le plus.

Quant à la formation des amphidiploïdes, quelques auteurs considèrent que l'origine des allotétraploïdes est très ancienne, alors que d'autres croient qu'elle est plus récente.

SKOVSTED [1934] et VALICEK [1978] pensent que des allotétraploïdes ont été créés lorsque les espèces parentales des génomes A et D étaient encore sur le Gondwana, avant ou immédiatement après la dérive des continents. HARLAND [1935] suppose que les allotétraploïdes ont été formés à la fin du Crétacé ou à l'Ère Tertiaire dans les îles de Polynésie par la migration de l'espèce du génome A à travers un pont terrestre transpacifique où il se croisa avec le génome D. HUTCHINSON *et al.* [1947] suggèrent que l'hybridation a eu lieu en Amérique du Sud où le génome A aurait été introduit par une migration humaine durant la période précolombienne. SHERWIN [1970] suppose que *G. herbaceum* a été transporté sur le continent américain par l'homme ou par l'eau grâce aux courants océaniques. Enfin, PHILLIPS [1963] et FRYXELL [1965, 1978] concluent que l'origine des allotétraploïdes n'est ni récente ni très ancienne, mais pourrait dater de l'Ère Quaternaire au Pléistocène.

Actuellement, l'origine monophylétique de tous les cotonniers allotétraploïdes est considérée comme l'hypothèse la plus probable. L'un des principaux arguments est que le sous-génomme A de *G. hirtum* et celui de *G. barbadense* diffèrent de celui de *G. herbaceum* var. *africanum* par les deux mêmes translocations

réciroques. Ces dernières résulteraient de remaniements chromosomiques intervenus après la naissance de l'allotétraploïde ancestral.

Une origine monophylétique implique l'existence d'un lieu d'origine commun à l'ensemble des tétraploïdes.

L'espèce sauvage *G. mustelinum* découverte dans le Nord-Est du Brésil constituerait un reliquat de l'espèce ancestrale. En effet, elle est rencontrée sur une aire de répartition très vaste et de manière sporadique dans des conditions écologiques similaires à celles où subsistent les cotonniers sauvages de *G. hirsutum* et *G. barbadense*.

Un argument supplémentaire concernant l'origine monophylétique est que les cinq allotétraploïdes *G. barbadense*, *G. hirsutum*, *G. tomentosum*, *G. mustelinum* et *G. lanceolatum* ont le même arrangement chromosomique.

.. 1.2. Système de **reproduction**

Les fleurs apparaissent sur les branches sympodiales (fructifères) sous forme de petites structures vertes pyramidales (appelées squares). Au moment de leur épanouissement, elles sont constituées par (Figure.2) :

- l'involucre qui comprend 3 bractées dentées et vertes;
- le calice gamosépale (5 sépales soudés) ;
- la corolle à 5 pétales de différentes couleurs allant du blanc crémeux au violet;
- l'androcée comprenant de nombreuses étamines soudées en partie en colonne staminale;
- le gynécée avec un ovaire à 2-6 carpelles et un stigmate à 2-6 lobes soudés, 812 ovules par carpelle.

Le cotonnier est une plante semi-autogame (entomogame). Son pourcentage d'allogamie est extrêmement variable (0,2 à 50 %). La connaissance, dans une région donnée, du taux d'allogamie est une notion très importante pour l'améliorateur car elle lui permet de choisir certaines méthodes de sélection ou au contraire, d'en éliminer ci' autres .

D'une manière générale, les autofécondations et les hybridations chez le cotonnier seront contrôlées.

- Autofécondation des fleurs de cotonnier

La fleur du cotonnier, quoique à fécondation autogame prépondérante, est, par sa forme et la nature de ses organes, largement ouverte à l'accès du pollen

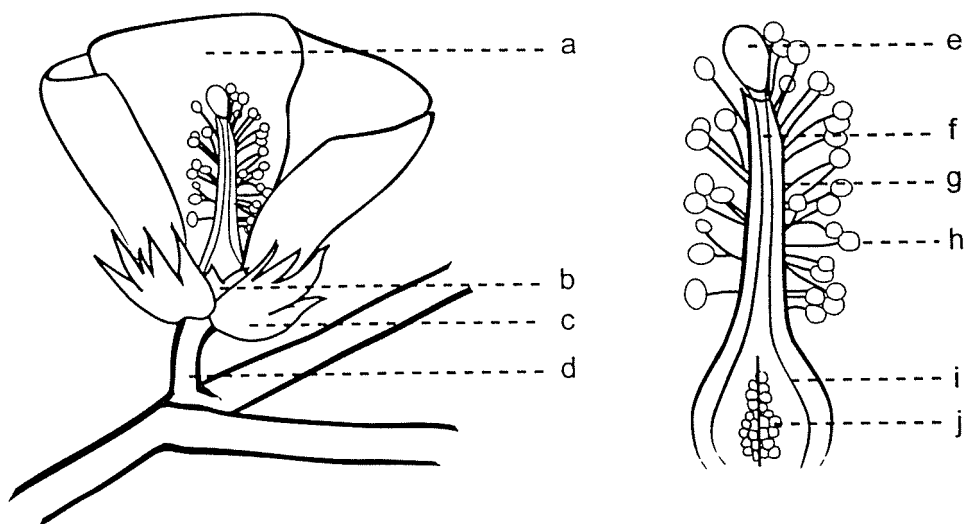


Figure 2 - Fleur de cotonnier en coupe longitudinale.

a: corolle (pétales) - b: calice (sépalés) - c: bractée - d: pédoncule - e: stigmate - f: style - g: colonne staminale - h: étamine - i: ovaire - j : ovules.

étranger. En matière d'amélioration, il est donc nécessaire de contrôler la pollinisation en autofécondant artificiellement les fleurs.

Les principales méthodes utilisées pour réaliser cette autofécondation sont les suivantes:

- _ **la ligature** qui consiste à lier le sommet des jeunes boutons floraux avec du fil de quelque nature qu'il soit (cuivre, aluminium, agave, ...) de manière à empêcher la fleur de s'ouvrir. L'opération est effectuée soit le soir du jour précédant l'anthèse, soit le jour même avant 8 h. Pour distinguer les fleurs auto fécondées de celles qui ne le sont pas, on attache au pédoncule des premières au moment de l'intervention une marque quelconque (fil, étiquette);
- _ **le gommage** qui consiste à placer une gomme liquide dans un petit flacon dont le goulot, suffisamment étroit, ne laisse pénétrer que le sommet de la fleur. Celui-ci est enduit d'une petite quantité du produit, ce qui a pour effet de souder les pétales entre eux par leur sommet;
- _ **le bagage** est une méthode dérivée de la ligature et qui consiste à employer de petites spirales métalliques;
- _ **l'ensachage** qui consiste à isoler les parties florales dans un petit sac qui peut être réalisé en diverses matières.

Les méthodes d'autofécondation qui viennent d'être citées sont généralement appliquées lorsqu'il s'agit de cotonniers cultivés en jardin pedigree, c'est-à-dire lorsque le nombre de plantes à contrôler est relativement restreint.

Lorsqu'on désire isoler une parcelle de multiplication d'une lignée purifiée de façon à permettre à tous les plants de se croiser librement entre eux tout en évitant l'immixtion de pollen étranger, on pratique un certain éloignement des parcelles. La distance capable d'assurer cet isolement est variable suivant les circonstances : elle dépend de l'abondance des insectes, de la nature de la végétation séparant les parcelles (300 m maximum).

- Hybridation des fleurs de cotonnier

La pratique des croisements entre lignées en vue de l'amélioration des qualités du cotonnier oblige l'améliorateur à effectuer des hybridations dirigées. Il s'agit ici d'empêcher l'autofécondation et d'assurer la pollinisation avec les éléments sexuels mâles d'un cotonnier déterminé tout en évitant le dépôt sur le stigmate de tout autre pollen que celui qui a été choisi.

La castration de la fleur se pratique en détachant tout l'androcée d'une seule pièce en dénudant toute la partie supérieure de l'ovaire et le style sur toute sa longueur. Aucun instrument n'est nécessaire pour cela. Il suffit de fendre avec l'ongle du pouce la base de la corolle un peu en dessous des sépales, puis de détacher les pétales adjacents par un effort des doigts, entraînant en même temps toute la colonne staminale.

La séparation des tissus se fait au point faible de la soudure corolleandrocée, à l'endroit où normalement se forme la couche de cellules séparatrices entraînant la chute de la fleur fanée. Grâce à ce procédé, on ne risque pas d'écraser les anthères et on laisse le pistil absolument dénudé et susceptible de recevoir du pollen sur toute sa surface. Après l'émasculature, l'isolement du gynécée est obtenu soit par recouvrement par un petit sachet, soit en glissant un segment de paille de céréale sur le pistil, paille obturée par un tampon ou fibres de coton.

La pollinisation se pratiquera dans la matinée du jour qui suit la castration. La fleur qui sera utilisée pour la production de pollen aura été ligaturée la veille pour la protéger contre toute pollution par du pollen étranger. Elle sera, au moment de pratiquer l'hybridation, toilettée et frottée contre le pistil de la fleur femelle, castrée la veille et prête pour la pollinisation. Le pollinisateur observera, à l'œil nu, la présence d'un amas de pollen sur les stigmates.

Le sachet ou la paille sera replacé sur la fleur et y sera maintenu deux ou trois jours, jusqu'au moment où le style se détache de lui-même du sommet de la capsule. Une étiquette indiquera la date et la nature du croisement. Elle sera attachée au pédoncule de la jeune capsule.

o . 1.3. Critères de sélection

Les critères de sélection pour le cotonnier sont nombreux. Ils varient en fonction du degré d'intensification de la culture et des besoins de l'industrie. Les objectifs varient dans l'espace et dans le temps. Il existe cependant des critères de base qui varient peu.

- Critères de production

- Productivité: nombre de capsules, grosseur des capsules, poids de coton graine par capsule (nombre de loges, nombre de graines par loge). - Rendement à l'égrenage.
- Résistance aux maladies et aux ennemis.

- Critères de qualité de la production

- Caractères de la fibre : longueur, régularité, finesse, ténacité, maturité, allongement, couleur, nœuds, etc .
- Caractères de la graine: proportion de graines avortées, poids de 100 graines, teneur en huile, présence ou absence de gossypol dans l'amande, teneur et qualité des protéines de l'amande, etc.

- Autres critères

- Précocité, port, pilosité, caractères des bractées, etc.

.1.4. Méthodes de sélection

Les méthodes de sélection et d'amélioration utilisées aujourd'hui sont nombreuses et variées, les différentes méthodes sont généralement adaptées aux différentes conditions rencontrées. Le but recherché est d'obtenir des combinaisons nouvelles et c'est en partant de cette idée que de nombreuses méthodes allant des plus simples aux plus complexes ont été mises au point.

- Sélection massale

C'est une méthode, nous l'avons mentionné précédemment, simple et sommaire qui est d'autant plus efficace qu'elle s'adresse à des critères en nombre limité, en bonne corrélation positive et possédant une bonne héritabilité. Pour le cotonnier, il s'agira de choisir au champ, dans une vaste culture commerciale, des plants qui participeront à la réalisation de la génération suivante. C'est une méthode qui ne peut être appliquée qu'à une population de cotonniers présentant une variabilité suffisante afin de pouvoir en extraire les meilleurs génotypes.

2 • Hybridation

Lorsque l'améliorateur ne trouve plus dans une population de cotonniers les caractéristiques qu'il recherche, il fera généralement appel à l'hybridation. Celle-ci est, en effet, utilisée soit pour créer une nouvelle variabilité, soit pour ajouter à une population donnée des caractères jugés nécessaires.

Dans un cadre intraspécifique

Les hybridations suivies de purification se pratiquent suivant le schéma suivant:

- _ hybridation entre deux lignées de cotonniers préalablement choisies pour leurs caractéristiques complémentaires;
- _ multiplication des cotonniers F1 ;
- _ choix de plantes-mères: il est pratiqué dans la descendance F: des hybrides réalisés en station. Un grand nombre de cotonniers sont repérés peu avant la récolte d'après certains critères comme le port, la productivité apparente, la pilosité, la résistance aux maladies. Ces cotonniers sont récoltés individuellement. Ils font l'objet de toute une série d'analyses au laboratoire: longueur des fibres, résistance mécanique des fibres, rendement à l'égrenage. Ne sont maintenus que les cotonniers présentant un ensemble de belles caractéristiques.

1°) Première année de purification

Chaque plante-mère retenue fournit l'année suivante une ligne de 50 plantes (CF 3)' Ces lignes de cotonniers sont semées côte à côte en jardin pedigree et auto-fécondées.

Un témoin à caractéristiques connues, généralement la variété en grande culture, est intercalé toutes les cinq lignes afin de pouvoir évaluer la variabilité due aux différences de fertilité du sol. L'observation des lignées au champ porte sur la morphologie des plantes, le nombre moyen de capsules par plante, la sensibilité aux maladies, etc .

Cinquante capsules sont récoltées, une par plante, prélevées de préférence au premier nœud de la première ou deuxième branche fructifère.

Cet échantillon appelé "récolte type" est analysé au laboratoire où on déterminera la longueur de la fibre, la résistance mécanique de la fibre, le rendement à l'égrenage, le poids de 100 graines, le poids moyen des capsules. Ce dernier caractère, combiné au nombre moyen de capsules par plante, fournit une indication approximative de la productivité de la lignée.

Les éliminations seront généralement basées sur la longueur de la fibre, SUR la résistance mécanique de la fibre, sur le rendement à l'égrenage, éventuellement sur la sensibilité aux maladies.

Dans chaque lignée, on récolte individuellement les capsules autofécondées des cotonniers dont la morphologie et la productivité sont correctes.

2°) Deuxième année de purification

Chacune des souches retenues est à l'origine d'une lignée de 50 plantes F4' Les observations en cours de végétation se poursuivent. À partir de la F4' la récolte des lignées s'effectuera comme suit:

- les 50 capsules prélevées en début de déhiscence à raison d'une par plante seront analysées en laboratoire comme en FJ' Cinq souches seront choisies systématiquement et récoltées individuellement. Les graines de chacune d'entre elles seront utilisées pour le semis des lignées de la génération ultérieure;
- les autres capsules auto fécondées de la ligne sont récoltées et serviront aux essais comparatifs préliminaires, au test fusariose (Wilt) et au test bactériose qui doivent être réalisés la saison suivante;
- les capsules non auto fécondées sont récoltées séparément.

Cette récolte totale des lignées permet d'apprécier d'une façon déjà assez précise leur rendement par rapport à celui du témoin.

3°) Troisième année de purification et années suivantes

Pour les lignées F_s et suivantes, les observations et le mode de récolte sont identiques à ceux des lignées F4'

À partir de ce moment (F_s), un essai comparatif intervient pour évaluer la production. Cette épreuve comprend plusieurs répétitions. Les graines sont issues des lignées-mères récoltées l'année précédente. Cet essai précis permet d'utiliser le rendement comme critère d'élimination et fournit des indications plus précises quant aux qualités technologiques susceptibles d'être obtenues en grande culture. Il permet également de chiffrer la résistance aux ennemis de différentes lignées testées car ces essais sont conduits sans bénéfice de traitements insecticides ou fongicides.

Des échantillons de fibres prélevés dans la récolte de cet essai sont soumis à l'appréciation commerciale et aux essais en filature. Les graines des lignées-mères sont également utilisées dans des tests destinés à apprécier la résistance des lignées à la fusariose (*Fusarium oxysporum* f. *vasinfectum* (ATK.) SNYD. et HANS) et à la bactériose (*Xanthomonas malvacearum* S. M.).

4 4°) Essais comparatifs des variétés épurées

Une variété est considérée comme économiquement purifiée lorsqu'au moins deux groupes de cinq lignées issues d'une même plante-mère présentent des caractères homogènes tant au champ qu'au laboratoire.

Ce matériel amélioré est multiplié en parcelles isolées dites de petites multiplications. Les semences produites servent aux essais comparatifs réalisés d'abord en station dans des conditions diverses (sol, dates des semis, avec ou sans protection phytosanitaire, avec ou sans engrais), ensuite, dans les milieux écologiques les plus caractéristiques de la zone cotonnière où leur diffusion est envisagée.

Des échantillons de fibres prélevés sur toutes les variétés testées dans tous les essais, aussi bien en station que dans le milieu extérieur, sont analysés chaque année au laboratoire et soumis à l'appréciation commerciale et aux essais en filature.

5°) Utilisation des fonnes sauvages et primitives

La véritable forme sauvage de *G. hirsutum* semble bien être *G. hirsutum* subsp. *yucatanense*. Ce cotonnier a pu être introduit dans diverses collections vivantes grâce aux prospections relativement récentes réalisées par l'Institut de Recherche cotonnière et textile (IRCT) en Amérique latine.

Jusqu'à ce jour, cette forme a été fort peu exploitée. Elle a cependant été utilisée en hybridation avec des formes cultivées de *G. hirsutum* par l'équipe du professeur J. DEMOL à la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux et à la Station INERA de Gandajika au Congo. Quelques graines de cette forme sauvage leur avaient précieusement été fournies par l'IRCT.

Ce matériel hybride fait l'objet de travaux divers en collaboration avec l'IRCT. Il semble très prometteur et est facile à exploiter car il appartient au "gene pool" primaire. Des premiers essais, il apparaît que de nombreux caractères tant technologiques qu'agronomiques pourraient être améliorés par cette sous-espèce.

Dans un cadre interspécifique

Aujourd'hui, la variabilité qui peut être obtenue dans un cadre intraspécifique est de moins en moins suffisante pour obtenir des améliorations notables de certaines qualités ou pour induire des caractères nouveaux. Il faut alors recourir à des méthodes susceptibles de permettre l'exploitation du patrimoine génétique de l'ensemble du genre *Gossypium*.

La connaissance des affinités intergénomiques permet à l'améliorateur d'explorer les potentialités génétiques qu'offre le genre *Gossypium*.

Il peut utiliser le croisement d'espèces amphidiploïdes interfertiles, spécialement *G. hirsutum* x *G. barbadense* à caractères complémentaires. Leurs hybrides F1 manifestent une fertilité parfaite tandis que l'inviabilité et la stérilité apparaissent généralement à partir de la seconde génération. Les hybrides, quoique intéressants pour certains caractères (production de coton, graine, longueur de fibre), sont difficiles à exploiter à cause d'un retour très prononcé vers les formes parentales chez les descendants de rares F2 fertiles. Néanmoins, certains cas exceptionnels associant les caractères parentaux ont été mis à profit par l'améliorateur.

Quant à l'exploitation des espèces diploïdes, trois méthodes d'introgression sont utilisées:

- **la méthode paraphylétique d'introgression** suit le processus naturel de l'obtention d'un allotétraploïde. Les hybrides trispécifiques sont obtenus en croisant les espèces des génomes A, D et dans une moindre mesure, B et F avec un amphidiploïde cultivé (**Figure 4**).

Dès l'obtention de l'hybride trispécifique, plusieurs rétrocroisements avec une variété commerciale sont nécessaires pour rétablir une fertilité convenable.

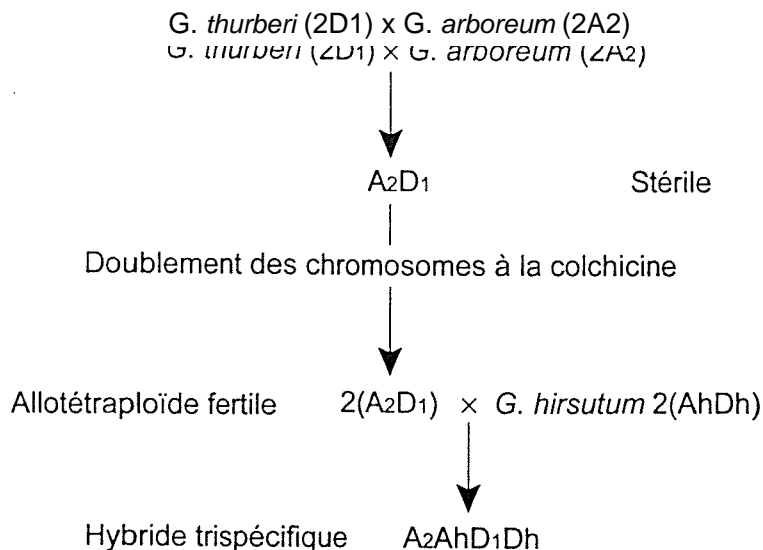


Figure 4 - Schéma de création d'un hybride trispécifique par la méthode paraphylétique.

- la méthode pseudophylétique d'introgession poursuit le même objectif que la précédente mais exploite une technique particulière. La méthode paraphylétique est limitative car le croisement direct entre diploïdes est plus difficile qu'entre tétraploïdes et diploïdes; l'emploi d'une technique détournée semble plus efficace (Figure .5).

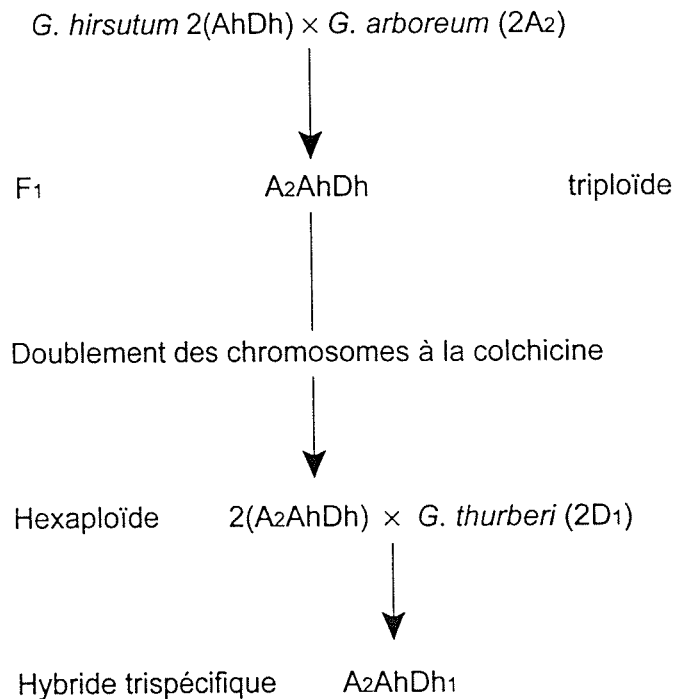


Figure .5 - Schéma de création d'un hybride tri spécifique par la méthode pseudophylétique.

L'amphidiploïde naturel est croisé avec une espèce diploïde du genre, à condition qu'il y ait une certaine homologie entre les génomes. Le triploïde obtenu est doublé à la colchicine pour donner un hexaploïde fertile à 78 chromosomes. Celui-ci est ensuite croisé avec une autre espèce diploïde pour l'obtention du tétraploïde synthétique. Une remarque importante s'impose: il est préférable qu'une des deux espèces diploïdes appartienne au génome D car le subgénome Dh ou Db des amphidiploïdes cultivés a très peu d'affinité avec les autres génomes. Une fois cette condition satisfaite, l'autre espèce peut théoriquement être de n'importe quel génome pourvu qu'il possède suffisamment d'homologie rémanente avec les subgénomes Ah, Ab.

Les tétraploïdes synthétiques sont du plus haut intérêt dans l'apport des caractères nouveaux aux cultivars. L'expérience a montré que le relèvement de la fertilité de ce matériel trispécifique est très lent à obtenir par autofécondations successives. Par contre, l'alternance de générations d'autofécondations avec celles de croisements de retour sur l'amphidiploïde (*G. hirsutum*) aboutit rapidement à la disparition de toute manifestation d'incompatibilité.

Les hybrides trispécifiques ont servi de point de départ pour des travaux importants de sélection.

-la **méthode aphyllétique d'introgression** s'écarte du processus naturel et n'utilise qu'une seule espèce diploïde que le généticien croise avec l'espèce cultivée amphidiploïde (**Figure .6**). Elle permet l'utilisation de n'importe quelle espèce diploïde, pour autant qu'il y ait un minimum d'homologie entre le génome diploïde et les subgénomes de l'espèce cultivée amphidiploïde.

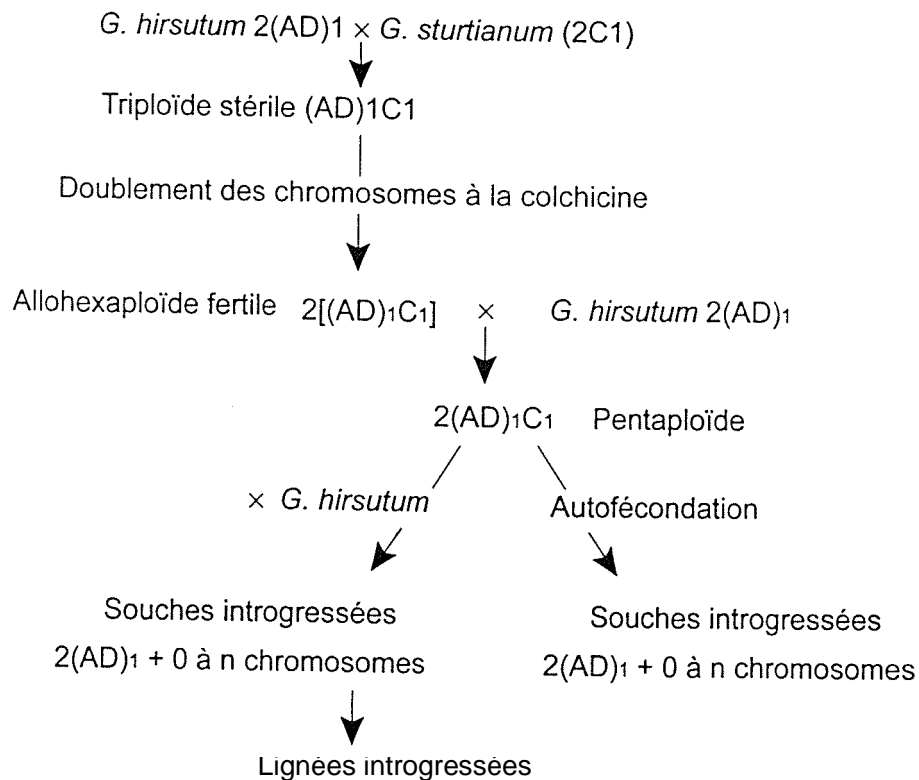


Figure .6 - Schéma de l'obtention des lignées introgressées par la méthode aphyllétique d'introgression.

L'hybride est un triploïde à 39 chromosomes, complètement stérile. Traité à la colchicine, il donne un hexaploïde fertile à 78 chromosomes. Cet allohexaploïde est croisé avec *G. hirsutum* et engendre un pentaploïde à 65 chromosomes. Ce dernier peut être croisé avec l'amphidiploïde ou autofécondé. La fréquence d'aneuploïdie est plus élevée dans une descendance autofécondée que lorsque le pentaploïde est rétrocroisé avec l'espèce cultivée.

Remarquons que la phase hexaploïde n'est pas seulement nécessaire à la restauration de la fertilité mais sert aussi comme siège de remaniements génomiques. Le nombre de générations successives d'hexaploïdes nécessaires à l'obtention d'un pentaploïde digne d'intérêt est inversement proportionnel à l'affinité existant entre les génomes étrangers et les subgénomés de l'amphidiploïde.

La fertilité des lignées aneuploïdes obtenues par autofécondation ou rétrocroisement du pentaploïde obéit à la loi de DARLINGTON. Elle indique que la réduplication de la moitié de x chromosome3 donne le déséquilibre maximum tandis que la réduplication de 1 ou $x-1$ chromosomes donne le déséquilibre minimum et donc la plus grande fertilité. Cette loi a été élargie pour le cotonnier et on considère aujourd'hui que le déséquilibre génétique à un même niveau d'aneuploïdie est fonction du degré d'homéologie des chromosomes en présence.

Ainsi, des chromosomes additionnels inhiberont moins la fertilité si ils appartiennent à un génome très hétérologue par rapport à ceux du receveur.

Un processus d'exploitation des souches monosomiques d'addition issues des pentaploïdes a été mis au point. La population aneuploïde est auto fécondée et fait ressortir en principe 25 % d'individus disomiques ($2n + 2$), 25 % d'individus euploïdes ($2n$) et 50 % d'individus monosomiques ($2n + 1$). Les individus $2n + 2$ sont éliminés parce qu'ils sont généralement stériles (**Figure 11.7**). L'aspect morphologique permet de distinguer facilement les additions monosomiques des euploïdes. Ceux-ci pour peu qu'ils soient introgressés entrent en sélection tandis que les plantes $2n + 1$ sont encore autofécondées en vue du cycle suivant.

• **Caractères intéressants découverts dans les espèces diploïdes du genre *Gossypium* et susceptibles d'être introgressés dans les cotonniers cultivés**

Le **tableau 11.2** fait la synthèse de ces caractères. Ils sont nombreux et divers. Ils peuvent, avec plus ou moins de difficultés être introduits dans les variétés commerciales en utilisant les méthodes exposées plus haut (méthode paraphylétique, pseudophylétique ou aphyllétique).

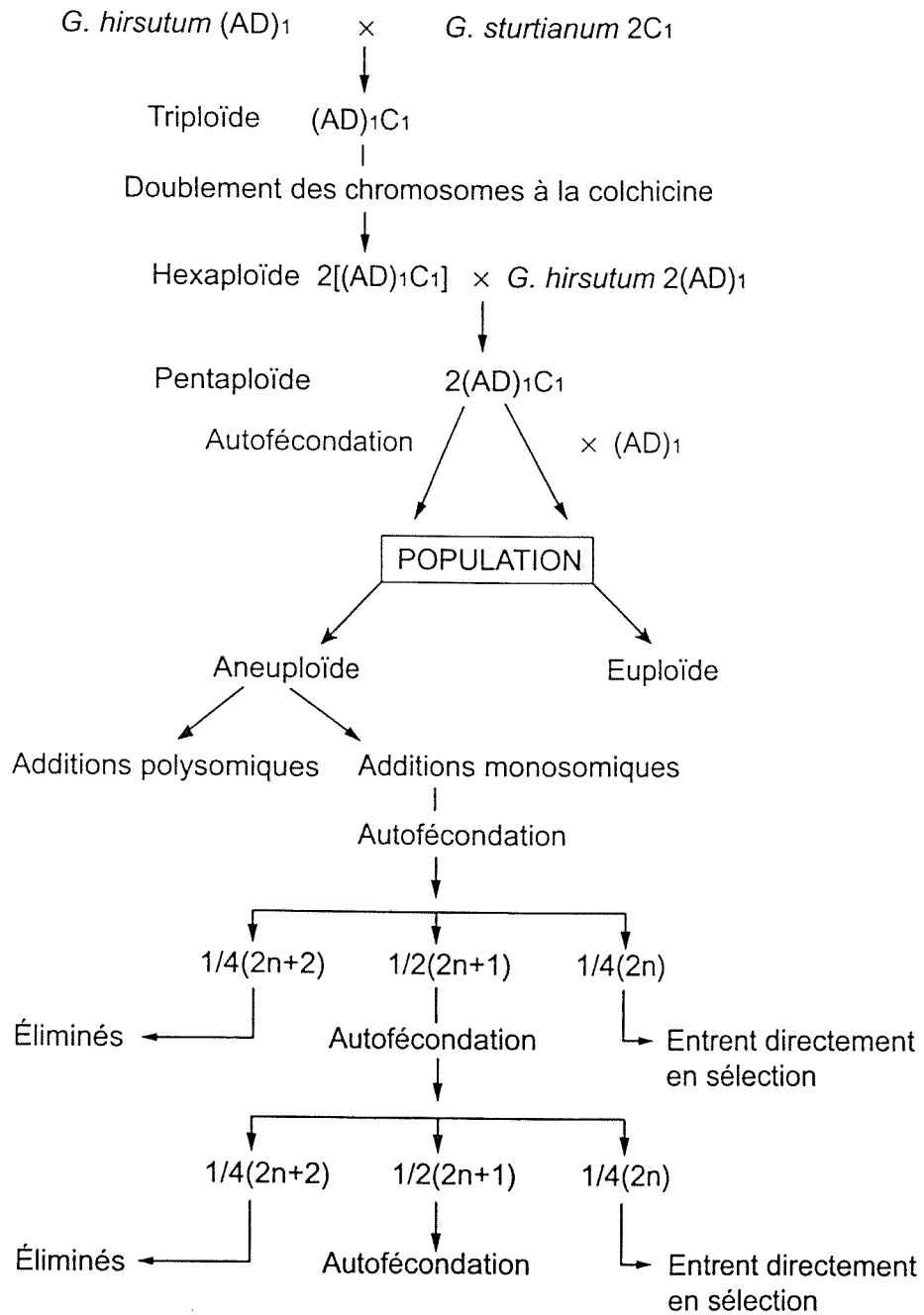


Figure .7 — Schéma de la création et de l'exploitation des aneuploïdes (d'après LOUANT, 1973 ; MARÉCHAL, 1972b ; BAUDOIN, 1973).

Tableau _2 - Caractères susceptibles d'être introgressés par les espèces diploïdes du genre *Gossypium*.

Génome	Espèce	Caractères exploitables
A	<i>G. herbaceum</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance à l'araignée rouge (<i>Tetranychus telarius</i> L.), au nématode (<i>Rotylenchulus reniformis</i> LINE), à la bactériose (<i>Xanthomonas malvacearum</i> SM.), à la rouille (<i>Puccinia stajananii</i> PRESLEY), à la fusariose (<i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>vasiyfectum</i> (ATK.) SNYD. et HANS) et à la verticilliose (<i>Verticillium dahliae</i> KLEB.) - Résistance à la sécheresse (provenance de l'Inde).
	<i>G. arboreum</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance au jasside (<i>Empoasca fabalis</i>), à la mouche blanche (<i>Bemisia tabaci</i> GEN.), au ver rose (<i>Platyedra gossypiella</i> SAUND.), au ver épineux, (<i>Earias insulana</i> BOISD.), à <i>Heliothis armigera</i> HB., à l'anthonome (<i>Anthonomus grandis</i> BOH.), à la chenille enrouleuse (<i>Sylepta derogata</i> FAB.), au nématode, à la bactériose, à la rouille et à la fusariose. - Résistance à la chaleur et à la sécheresse. - Apport de la stérilité mâle cytoplasmique.
B	<i>G. anomalum</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance au jasside, à <i>Heliothis armigera</i>, à l'anthonome, au ver rose, à la bactériose, à la rouille et à la verticilliose. - Résistance à la sécheresse. - Apport de la finesse et de la longueur de fibre, du rendement à l'égrenage, de l'allongement à la rupture et de la stérilité mâle cytoplasmique.
	<i>G. triphyllum</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance au puceron vert (<i>Aphis gossypii</i> GLOV.) et au tétranyque (<i>Tetranychus urticae</i> KOCH.). - Résistance à la sécheresse.
C	<i>G. sturtianum</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance au puceron vert, à la mineuse des feuilles (<i>Bucculatrix thurberiella</i> BUSCK.), à la pourriture des racines (<i>Phymatotrichum omnivorum</i> (SHEAR) DUGGER) à la verticilliose et à la rouille. - Résistance au froid et insensibilité au photopériodisme. - Apport des fibres résistantes, du rendement à l'égrenage, du retard à la morphogénèse des glandes à gossypol et de la courte période de capsulaison.
	<i>G. australe</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance au puceron vert et au tétranyque. - Résistance à la sécheresse. - Apport du rendement en fibres, de la maturité de la fibre et des gènes "glandless" des graines.
	<i>G. nelsonii</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance ou tolérance au puceron vert et au tétranyque. - Résistance à la sécheresse. - Apport des gènes "glandless" des graines.

1 **Tableau .2** (suite)

Génome	Espèce	Caractères exploitables	
D	<i>G. thllrberi</i>	- Résistance ou tolérance à la fusariose, à la rouille, à l'anthonome et à la pourriture des capsules. - Apport de la finesse et de la résistance des fibres, de bractée étroite et atrophiée et de haute teneur en gossypol.	
	<i>G. armollrianllm</i>	- Résistance ou tolérance à la bactériose, à la rouille, à la mouche blanche, au jasside et à la pouniture des capsules. - Résistance à la sécheresse. - Apport de bractée caduque et de fibre brune.	
	<i>G. harknessii</i>	- Résistance ou tolérance à la verticilliose, à la bactériose et au tétranyque. - Apport de la résistance de la fibre et de la stérilité mâle cytoplasmique.	
	<i>G. davidsonii</i>	- Résistance ou tolérance à la rouille, à la bactériose, à l'anthonome, au tétranyque et aux aphides. - Résistance à la sécheresse et à la salinité.	
	<i>G. klotzschianllm</i>	- Tolérance au tétranyque.	
	<i>G. aridllm</i>	- Résistance à la sécheresse. - Apport de poids de graines et de la résistance de la fibre.	
	<i>G. raimondii</i>	- Résistance ou tolérance au jasside, à <i>Heliothis armigera</i> , à la rouille et à la bactériose. - Résistance à la sécheresse. - Apport de la résistance et de la longueur de la fibre, du rendement à l'égrenage, de grosses capsules et de la haute teneur en gossypol.	
	<i>G. gossypoides</i>	- Tolérance à la rouille.	
	E	<i>G. stocksii</i>	- Résistance ou tolérance au puceron vert, au tétranyque, au nématode et à la rouille. - Résistance à la sécheresse. - Apport de la longueur de la fibre, du rendement à l'égrenage, de la résistance et de l'allongement à la rupture de la fibre.
		<i>G. somalense</i>	- Tolérance au nématode, à la psyllose (<i>Paurocephala gossypii</i> RUSSELL) et immunité à la pourriture des capsules.
<i>G. areys:cnum</i>		- Apport de la résistance et de l'allongement à la rupture de la fibre.	
F	<i>G. longicalyx</i>	- Immunité au nématode (<i>Rotylenchulus reniformis</i>). - Apport du poids de graines, de la longueur, de la finesse et de la résistance de la fibre.	
G	<i>G. bickii</i>	- Résistance ou tolérance au puceron vert et au tétranyque. - Résistance à la sécheresse. - Apport des gènes "glandless" des graines.	

2 Sélection cumulative

Quelle que soit la méthode d'introgession utilisée, l'apport du ou des parents diploïdes est généralement tel que les caractères introgressés favorables et défavorables se manifestent de concert. Le ou les caractères recherchés, maintenus au plus haut niveau, sont pratiquement toujours accompagnés de propriétés rédhitoires. On ne peut donc, à ce stade, que fixer des lignées intéressantes pour un caractère bien défini.

Ces lignées serviront par la suite de géniteurs dans une sélection de type cumulatif. Cette sélection cumulative pourra être appliquée aux cotonniers trispécifiques comme aux cotonniers bispécifiques. Elle diffère de la sélection classique en ce qu'elle est précédée d'une phase de plusieurs générations où on maintient artificiellement une forte hétérozygotie par croisements en tous sens afin de multiplier au maximum les fréquences de rupture et de recombinaisons.

Pratiquement, les générations autofécondées, destinées à détecter les cotonniers supérieurs quant aux caractéristiques recherchées alternent avec des générations d'hybridations, les cotonniers choisis étant croisés entre eux suivant toutes les combinaisons possibles. Deux générations successives, l'une de croisement, l'autre d'autofécondation, forment un cycle. Plusieurs cycles sont ainsi réalisés et on voit les valeurs moyennes des caractères à améliorer s'élever graduellement (Tableau 11.3). Cet ensemble de cycles constitue une étape préparatoire destinée à créer une population de types intéressants et nouveaux qui n'existaient pas auparavant. Cette population fournit, après analyse, un certain nombre de souches, têtes de lignées, qui entrent alors en sélection classique.

.1.5. Cultivars d'origine interspécifique déjà commercialisés Tous les hybrides interspécifiques, bi- et trispécifiques offrent d'énormes perspectives en amélioration cotonnière.

Aux États-Unis d'Amérique, les hybrides tri spécifiques ont suscité un grand intérêt auprès des améliorateurs à tel point qu'ils furent envoyés dans toutes les régions cotonnières des États-Unis pour participer à divers programmes de sélection.

En Afrique occidentale, l'IRCT a surtout exploité les caractéristiques de l'hybride trispécifique du type HAR (*hirsutum - arboreum - raimondii*).

En Afrique anglophone, des cotonniers de type HAR, originaire de Bouaké en Côte d'Ivoire, furent exploités pour leur productivité et la résistance de leurs fibres.

Tableau.3 - Schéma d'un plan de sélection cumulative appliquée à l'amélioration du cotonnier à la station INERA de Gandajika (Congo).

Cycle I	Année 1	Croisements entre variétés	=
	Intercampagne 1	FI auto fécondée	
	Année 2	(F ₂)1 - parcelle isolée - élimination phénotypique Sur cote 5 - analyse des souches - n plants retenus	
Cycle II	Année 3	Croisements en tous sens des n plants retenus	=
	Intercampagne 3	FI auto fécondée	
	Année 4	(F ₂)2 - parcelle isolée - élimination phénotypique Sur cotes 4 et 5 - analyse des souches - n plants retenus	
Cycle III	Année 5	Croisements en tous sens	=
	Intercampagne 5	FI auto fécondée	
	Année 6	(F ₂)3 - parcelle isolée - élimination phénotypique Sur cotes 3-4-5 - analyse des souches - n plants retenus	
Cycle IV	Année 7	Croisements en tous sens	=
	Intercampagne 7	FI autofécondée	
	Année 8	(F ₂)4 - parcelle isolée - élimination phénotypique sur cotes 2-3-4-5 - analyse des souches - maintenir comme tête de lignée les souches associant les divers caractères recherchés Dès ce stade, poursuivre par la sélection classique	

Cotation: 1 type commercial 2
type satisfaisant 3
type suffisant
4 type peu satisfaisant
5 type à éliminer d'office

Au Congo, un programme interspécifique important fut poursuivi jusqu'en 1990, année du départ définitif des chercheurs belges de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. On y a exploité d'abord la variabilité apportée par l'hybride tri spécifique HAT (*hirsutum* - *arboreum* - *thurberi*). Cela permit la création de la variété Zaïre 1832. Les étapes de la création de cette variété furent les suivantes:

- le repérage de la souche tri spécifique HR 1-219, se distinguant par des caractères intéressants associés à une résistance élevée de la fibre;
- la création d'hybrides entre HRI-219 et la variété NC8 ;
- la sélection pedigree des descendances qui donne naissance à la variété Zaïre 1832.

On y a exploité ensuite la variabilité apportée par plusieurs hybrides bispécifiques.

À l'initiative du professeur J. DEMOL, la station de l'INEAC de Gandajika, en 1968, a entamé une nouvelle sélection cumulative à partir de deux cultivars (NC8 et BJA 592) et de cotonniers introgressés par diverses espèces sauvages (*G. anomalum* BI ; *G. thurberi* DI ; *G. raimondii* D5) qui présentaient au plus haut niveau un ou plusieurs caractères recherchés en culture cotonnière.

Après trois cycles de sélection cumulative, les premières souches (F₂) têtes de lignées, sont entrées en sélection classique en 1978. Au terme du processus de purification en jardin pedigree, le professeur J. DEMOL, lors de son passage à la Station en 1985, a retenu 15 lignées. Elles seront baptisées S.CG. (Sélection Cumulative Gandajika) et feront l'objet d'essais plus précis.

Ces essais ont permis de retenir quatre lignées qui présentent une excellente productivité, des capsules volumineuses, un rendement à l'égrenage élevé ainsi que des fibres longues et résistantes. Ces lignées, contrairement à ce qu'on observe généralement, possèdent un rendement fibre élevé sans diminution du volume des graines. Celles-ci, au contraire, restent volumineuses.

Les quatre variétés S.CG. retenues sont les suivantes:

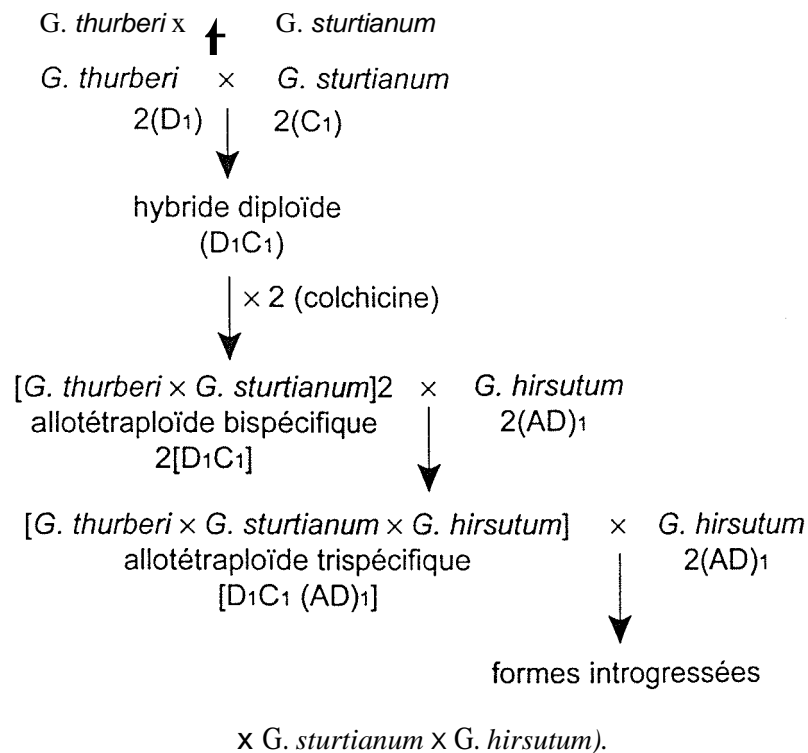
S.CG. 471-216-7-117-330-614-149
 S.CG.471-215-6-112-305-497-105 S.CG.
 1272-480-117-465-1081-1617-345 S.CG.
 1272-482-119-478-1149-1829-508.

Ces quatre lignées furent testées pendant quatre ans dans des conditions variables de climat, de fertilité du sol, de lutte phytosanitaire. Ces essais permirent de classer les quatre variétés élites en deux grandes familles:

- _ la famille S.CG. 471 qui possède un potentiel de productivité exceptionnel s'exprimant surtout en conditions de culture intensive. Au sein de cette famille c'est la lignée S.CG. 471-216-7-117-330-614-149 qui constitue, de par son très haut rendement à l'égrenage, le matériel le plus intéressant.
- la famille S.CG. 1272 qui se montre nettement plus rustique. Elle surpasse toutes les autres en absence de fumure minérale et de protection phytosanitaire. La lignée S.C.G. 1272-482-119-478-1149-1829-508 est celle qui se comporte le mieux en conditions de culture extensive.

Plus récemment, à la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Guy MERGEAI et ses collaborateurs se sont lancés dans l'aventure de l'exploitation du retard à la morphogenèse des glandes à gossypol observé chez *Gossypium sturtianum* ($2n = 2x = 26$, génome CI)

En vue d'introgresser ce retard à la morphogénèse des glandes à gossypol dans la graine de *Gossypium sturtianum* chez la principale espèce de cotonnier cultivé (*Gossypium hirsutum* $2n = 4x = 52$, génome (AD)), deux hybrides trispécifiques ont été croisés en utilisant respectivement comme espèce pont *Gossypium raimondii* ($2n = 2x = 26$, génome D₅) ou *Gossypium thurberi* ($2n = 2x = 26$, génome D₁) (**Figures .8 et .9**). Les deux hybrides trispécifiques ont été croisés avec deux variétés de *G. hirsutum*. L'observation des graines trispécifiques a mis en évidence l'expression incomplète du mécanisme répresseur de la formation des glandes à gossypol de *G. sturtianum* quand ses chromosomes sont confrontés au génome O. Plusieurs graines provenant du rétrocroisement des hybrides trispécifiques étaient totalement dépourvues de glandes à gossypol : 6 Sur 41. Une seule d'entre elles a donné naissance à une plante adulte présentant une densité normale de glandes à gossypol. Les observations cytogénétiques réalisées sur les hybrides trispécifiques et leur descendance introgressée ont confirmé le bien-fondé de la stratégie d'introggression proposée. Toutes ces structures étaient euploïdes ($2n = 4x = 52$) et montraient des fréquences élevées de multivalents et de chiasma en métaphase I, indices d'importants échanges de matériel génique. Toutes les plantes issues de graines totalement ou presque totalement démunies de glandes sont utilisées dans un programme de rétrocroisement avec *G. hirsutum*, pour produire des variétés commerciales de cotonnier "Upland" exprimant le retard à la morphogénèse des glandes à gossypol de la graine.



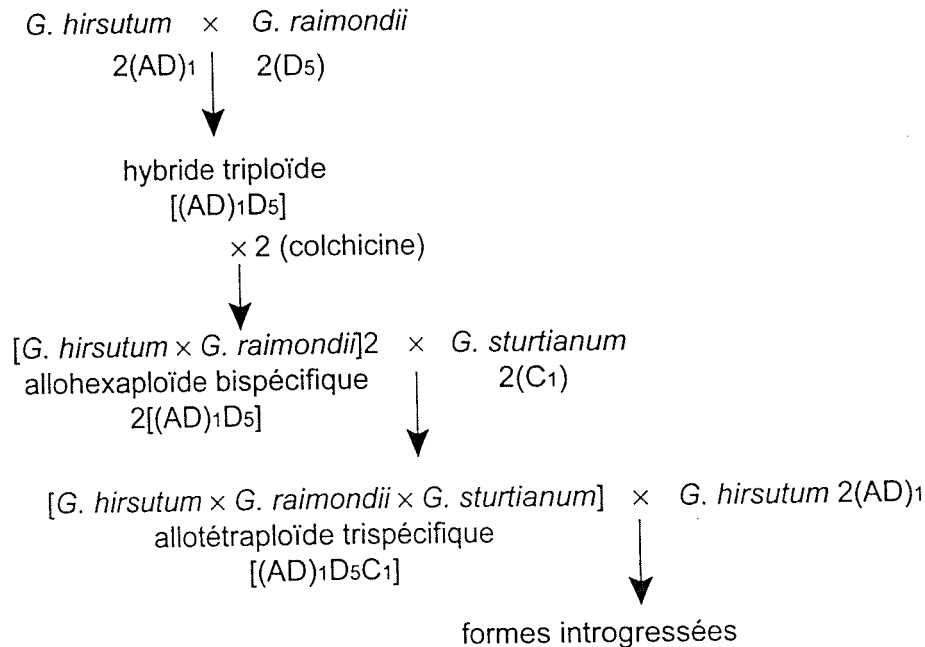


Figure .9 — Schéma de création de l'hybride HRS (*G. hirsutum* × *G. raimondii* × *G. sturtianum*).

. 1.6. Travaux de transgénèse en amélioration cotonnière

- Lutte contre les vers de capsules

UMBECK *et al.* [1987] sont les premiers à avoir obtenu des cotonniers transgéniques via l'utilisation d'un vecteur de transfert, en l'occurrence une souche modifiée d'*Agrobacterium tumefaciens*. À leur suite, plusieurs équipes de recherche ont utilisé cette technologie afin d'introduire chez le cotonnier des séquences de gènes codant pour la sécrétion de toxine de *Bacillus thuringiensis* (gène CryIa, CryIb, etc.) ou d'inhibiteurs de protéase (C-II).

Ces travaux ont conduit à la création de cotonniers présentant une importante résistance à ce type de ravageurs (principalement à *Heliothis zea* et dans une moindre mesure à *Spodoptera* sp. et à *Helicoverpa armigera*. Lancées en 1996, les variétés de cotonniers transgéniques représentent actuellement environ 60 % et 25 % des superficies cultivées respectivement aux U.S.A. (plus de 3 millions d'ha) et en Australie (environ 125 000 ha). On estime que les superficies cultivées avec ces cotonniers transgéniques devraient plafonner à ces niveaux dans ces deux pays au cours des prochaines années. En Chine continentale, la superficie cultivée avec du coton transgénique est estimée à 270 000 ha. Ce type de variété

commence à être diffusé à large échelle dans les autres grands pays producteurs de coton (Afrique du Sud, ...).

• Résistance aux herbicides

Des cotonniers transgéniques présentent également des résistances à divers herbicides (glyphosate, sulfonyle, urées, bromoxynil) permettant aux cultivateurs de diminuer leurs coûts de désherbage.

.1.7. Multiplication et diffusion des nouvelles sélections

Le remplacement d'une ancienne variété par un nouveau matériel dont la supériorité a été mise en évidence au terme de plusieurs années d'essais variétaux est une opération délicate.

Lorsque les conditions de multiplication et de diffusion sont optimales, on peut, au niveau de chaque zone usine d'un secteur cotonnier, renouveler les semences de l'ancienne variété en deux vagues successives. À une première vague, dite de "rinçage" succède une seconde vague qualifiée de définitive. L'extension du nouveau cultivar s'effectue en tache d'huile à partir d'une première zone usine située plus ou moins au centre de la région cotonnière. Les champs de coton qui dépendent de la première zone usine sont alimentés en semences par la production d'un centre isolé directement contrôlé par la recherche. Ce premier centre de production est lui-même ensemencé par des graines produites au niveau de la station de recherche responsable de la sélection. Le schéma d'une telle multiplication et diffusion est repris à la **figure 11.10**.

La réussite de cette opération exige que soient prises des précautions draconiennes:

- un contrôle strict de la pureté du matériel produit en station et dans le premier centre de multiplication doit être assuré par le sélectionneur responsable de la création de la nouvelle variété;
- les zones usines doivent être isolées des autres zones dont les semences n'ont pas encore été renouvelées par des postes d'achat tampon. Les semences récoltées au niveau de ces postes tampon sont détruites;
- les usines, les magasins à semences, les postes d'achat, les véhicules qui servent au transport du coton doivent être soigneusement nettoyés;
- les agriculteurs doivent détruire tous les cotonniers cultivés au cours de la campagne précédente;
- tout le coton encore en possession des agriculteurs doit être acheté hors saison.

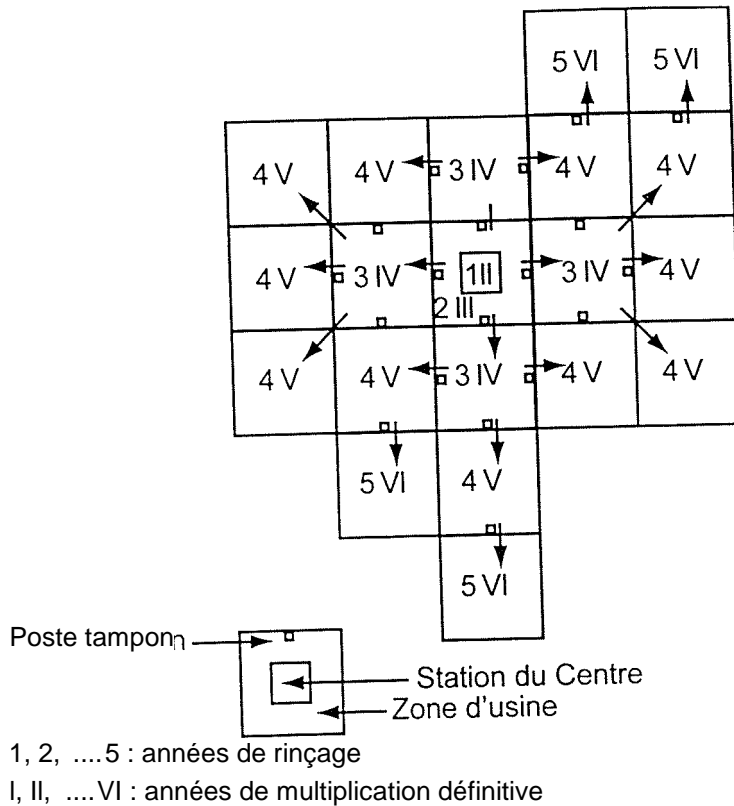


Figure .10 - Schéma de multiplication et de diffusion des semences d'un nouveau cultivar.

Cette méthode de diffusion nécessite une organisation très stricte pour assurer le maintien de la pureté des semences au cours des différentes étapes de la diffusion.

Mais lorsque la discipline et la rigueur qui doivent caractériser les secteurs cotonniers s'estompent, il est illusoire d'espérer réussir la diffusion d'un nouveau cultivar en recourant à cette méthode de diffusion basée sur le principe du rinçage discontinu. Cette constatation associée à la nécessité pour les structures de recherche de fournir plus fréquemment un nouveau matériel aux performances améliorées plaident en faveur de la mise en place d'un système de multiplication et de diffusion prévoyant un rinçage annuel continu de semences diffusées dans les zones cotonnières.

Dans ce type de schéma, la station de recherche créatrice de la nouvelle variété doit fournir annuellement les quantités de semences nécessaires à l'ensemencement de centres de multiplication primaire. Les quantités de graines

produites par ces centres de multiplication primaire couvrent les besoins en semences des champs dépendant d'un poste usine des zones cotonnières concernées. A partir de ces postes usines initiaux, la diffusion s'effectue en tache d'huile vers les postes usines voisins comme dans le cas de l'ancienne méthode de diffusion.

Le bon fonctionnement d'une procédure de multiplication et de diffusion de semences améliorées doit être contrôlé fréquemment. Chaque année, au niveau de toutes les zones usines, on prélève environ une tonne de coton-graine sur laquelle on détermine à l'usine le rendement de l'égrenage.

Avant cette opération, un échantillon moyen d'environ 2 kg de coton-graine est envoyé à la station de sélection. Au niveau de ce centre de recherche, la longueur et la régularité des fibres, l'indice-graine (*seed-index*), l'état sanitaire, le pouvoir germinatif et l'aspect des graines sont vérifiés. Une partie de ces graines est semée au cours de la campagne suivante afin d'observer la morphologie des plantes. Ces observations ne laissent aucun doute sur l'état de pureté du matériel diffusé dans les diverses zones usines. Elles permettent d'identifier rapidement les zones où se posent des problèmes.

VII. AMELIORATION D'UNE PLANE

STIMULANTE

7.1. Les caféiers

Coffea spp.

2n = 22 ; 2n = 44

.1.1. Botanique

- **Systematique**

Les caféiers appartiennent au genre *Coffea*, famille des *Rubiaceae*. Ce sont des arbustes dont le système racinaire est formé d'un pivot profond formant dans sa partie supérieure un chevelu dense de racines qui exploitent la partie superficielle du sol.

Le tronc, d'origine orthotrope, est pourvu de rameaux latéraux flexibles (plagiotropes) plus ou moins horizontaux. Ces rameaux se répartissent régulièrement en étages. Deux rameaux primaires opposés succèdent à deux autres rameaux opposés mais situés dans un plan perpendiculaire. Ces rameaux primaires, à leur tour, vont se ramifier avec l'âge en rameaux secondaires, tertiaires, etc.

Les feuilles sont simples et courtement pétiolées. Le limbe est ovale, acuminé et brillant sur sa face supérieure.

Sur les axes orthotropes à l'aisselle des feuilles existent deux types de bourgeons: les bourgeons axillaires ou sériés et le bourgeon extra-axillaire ou tête de série.

Les bourgeons axillaires des tiges orthotropes, s'ils se développent, donnent naissance à de nouveaux axes orthotropes (gourmands) tandis que les bourgeons extra-axillaires évoluent en rameaux plagiotropes primaires. Ceux-ci portent à l'aisselle des feuilles des bourgeons axillaires qui évolueront soit en fleurs, soit en rameaux plagiotropes secondaires.

Les fleurs sont blanchâtres, très odoriférantes (jasmin) et forment des glomérules localisés aux aisselles foliaires des rameaux plagiotropes. La fleur se compose d'un ovaire, à deux carpelles soudés, surmontés d'un calice et d'une corolle dont les cinq pétales soudés forment un tube s'ouvrant par cinq lobes étalés. Les étamines insérées sur la corolle sont également au nombre de cinq. Le style est long et grêle. Il se termine par deux stigmates effilés qui surmontent la corolle.

Le caféier fleurit pour la première fois vers l'âge de trois ans, parfois plus tôt. Vers l'âge de cinq ans, la floraison atteint sa pleine maturité. Ensuite, la quantité de bois fructifère diminuant, l'intensité de la floraison décline. Le rôle de la taille sera de renouveler les branches épuisées et provoquer un nouveau cycle de floraison et de fructification.

À maturité, après huit à neuf mois, le fruit ou cerise est une drupe qui renferme deux fèves s'opposant par leur face plane.

D'après CHEVALIER (1947), les espèces de caféiers peuvent être groupées en quatre sections:

- les *EucofJea* K. SCHUMANN: 24 espèces,
- les *MascarocofJea* CHEV. : 18 espèces,
- les *ParacofJea* MIQ. : 13 espèces,
- les *ArgocofJea* PIERRE ex. DE WILD. : 11 espèces.

Toutes ces espèces sont originaires des régions tropicales et subtropicales d'Afrique et d'Asie.

On connaît relativement peu de choses sur les affinités génétiques existant entre les espèces du genre *CofJea*. Les études sur les possibilités de croisement et sur les homologues chromosomiques ont été généralement limitées à un petit nombre d'espèces conservées dans des collections vivantes.

Celles de la sous-section *Ei:rthrocoffe*Q ont été mieux étudiées que les autres. La section *Euco/rea* comprend cinq sous-sections:

Section	Sous-section	Espèces
<i>Eucojfea</i>	<i>Erythrocoffe</i> CHEV.	<i>C. arabica</i> L. <i>C. congensis</i> FROEHNER <i>C. canephora</i> PIERRE <i>C. eugenioides</i> MOORE
	<i>Pachycoffe</i> CHEV.	<i>C. liberica</i> BULL ex HIERN <i>C. klainii</i> PIERRE <i>C. oyemensis</i> CHEV. <i>C. aleokutae</i> CRAMER <i>C. dewevrii</i> DE WILD. et DURAND
	<i>Nanocoffea</i> CHEV	5 espèces
	<i>Melanocoffea</i> CHEV.	3 espèces
	<i>Mozambicoffea</i> CHEV.	7 espèces

- Espèces commerciales

Les espèces *C. arabica*, *C. canephora*, *C. liberica* sont les seules à être cultivées sur des surfaces importantes.

Coffea arabica est originaire, non de l'Arabie comme sa dénomination prêterait à le supposer, mais des hauts plateaux d'Éthiopie, il y forme des peuplements très importants entre 1 300 et 1 900 mètres d'altitude. De par sa nature autogame (autofertile), *C. arabica* présente des caractères relativement homogènes. C'est un tétraploïde avec $2n = 4x = 44$.

Coffea canephora a été découvert en Afrique vers la fin du XIXe siècle dernier. Son aire de dispersion est vaste puisqu'elle correspond aux zones climatiques chaudes et humides, qu'elle couvre une grande partie de la région forestière occidentale et s'étend à l'Est jusqu'aux rives occidentales du lac Victoria. Ce caféier, à l'inverse de *C. arabica*, est allogame (ou autostérile). C'est un diploïde avec $2n = 2x = 22$.

Coffea liberica, dont il existe de nombreuses variétés, a connu un certain succès en Afrique, en Asie tropicale et même en Amérique (Surinam) après la destruction des plantations de *C. arabica* sous les attaques de *Hemileia vastatrix* à la fin du siècle dernier. Il est encore cultivé sur de petites surfaces au Liberia, au Surinam et dans quelques autres régions. *C. liberica* est autostérile. C'est un diploïde avec $2n = 2x = 22$.

3 • Génétique

Le nombre chromosomique de base du genre *Coffea* est $x = 11$. On observe deux groupes d'espèces:

- Un premier groupe diploïde avec $2n = 2x = 22$.

Il comprend diverses espèces: *C. canephora*, *C. delavayana*, *C. congensis*, *C. eugenioides*, *C. racemosa* LauR., *C. stenophylla* G. DON. Elles sont toutes auto-incompatibles.

- Un deuxième groupe tétraploïde avec $2n = 4x = 44$.

Il ne comprend qu'un seul représentant économiquement intéressant: *C. arabica* qui est autofertile. Elle comprend toute une série de variétés et de cultivars.

L'hérédité de *C. arabica* est de type disomique ; à la méiose, on observe uniquement des bivalents. C'est donc très probablement un allotétraploïde se comportant comme un diploïde (allodiploïde).

1.2. Amélioration des caféiers diploïdes et allogames

Ils ont tous un caractère commun qui permet d'adopter pour eux une même méthode de sélection. Ils sont tous auto-incompatibles et donc obligatoirement allogames.

• Critères de sélection

Les critères adoptés sont à la fois d'ordre qualitatif et quantitatif.

L'objectif des programmes est d'obtenir des clones ou des populations à productivité élevée et régulière, non seulement par leur potentiel de productivité, mais aussi par leur faculté de résister aux facteurs défavorables. Ils doivent aussi fournir un café homogène, de bonne qualité à la tasse et d'une belle présentation.

Le rendement doit être le plus élevé possible, sans oublier qu'un arbre à haut potentiel de productivité ne peut extérioriser ce potentiel que dans le cadre d'une agriculture évoluée (engrais, taille, lutte phytosanitaire, etc.).

Les qualités commerciales

Il est évident que les cafés appartenant à l'espèce *canephora* ne peuvent se comparer aux cafés appartenant à l'espèce *arabica*. Il ne faut pas espérer de miracle dans ce domaine. Mais il n'en reste pas moins vrai que l'amélioration de leurs caractéristiques commerciales doit retenir toute l'attention de l'améliorateur. Celui-ci s'intéressera principalement à la granulométrie et à la qualité de l'infusion.

- La granulométrie pour les caféiers de type "robusta" reste basse, l'améliorateur se fixe généralement comme critère un poids de 18 g pour 100 graines (12 g pour les Couilou). Il cherchera également à corriger l'aspect arrondi et trapu des graines pour se rapprocher de la forme plus allongée des *arabica*.

- La valeur organoleptique est un critère essentiel. Si pour les *canephora* on ne peut rechercher une finesse ou un arôme particulier, il faut cependant éliminer sans hésiter le matériel végétal dont les graines sont affectées d'un mauvais goût. On recherche généralement un goût franc et neutre, susceptible de permettre la réalisation de mélanges harmonieux avec les arômes supérieurs des cafés *arabica*. On peut, dans une certaine mesure, tenter de diminuer la teneur en caféine.

Résistance aux maladies et aux ennemis

La rouille, *Hemileia vaslafrix*, et le scolyte du grain, *Stephanoderes hampei*, sont les deux grands fléaux qui ont ravagé les plantations de caféiers dans le monde. Il y a donc lieu de rechercher des variétés ou des clones tolérants à ces parasites. D'autres maladies et ennemis sont parfois à craindre comme par exemple, en Côte d'Ivoire, *Fusarium xylaroides*.

Groupement de la maturation

La maturation étalée chez les caféiers constitue un réel handicap. Elle se traduit par des cueillettes nombreuses provoquant une augmentation du coût de la récolte; en outre, elle rend plus difficile la normalisation des soins culturaux. Cette fructification échelonnée provoque la présence constante de drupes à différents stades de développement. Cela favorise l'endémisme du scolyte du grain (*Stephanoderes*). En effet, pratiquement pendant toute l'année, l'insecte dispose de fruits suffisamment développés que pour s'y nourrir et se multiplier. Une maturation groupée constitue donc un caractère à rechercher.

• Méthodes de sélection

Principes généraux

Les caféiers diploïdes étant auto-incompatibles, deux voies peuvent être suivies (Figure 12.1) :

- celle de la sélection végétative,
- celle de la sélection générative.

La première (sélection végétative) tend à repérer des clones dont les performances se révèlent intéressantes. Elle trouve son aboutissement dans la multiplication par bouturage, en vue de la distribution, aux planteurs, d'un mélange de boutures des clones intercompatibles retenus.

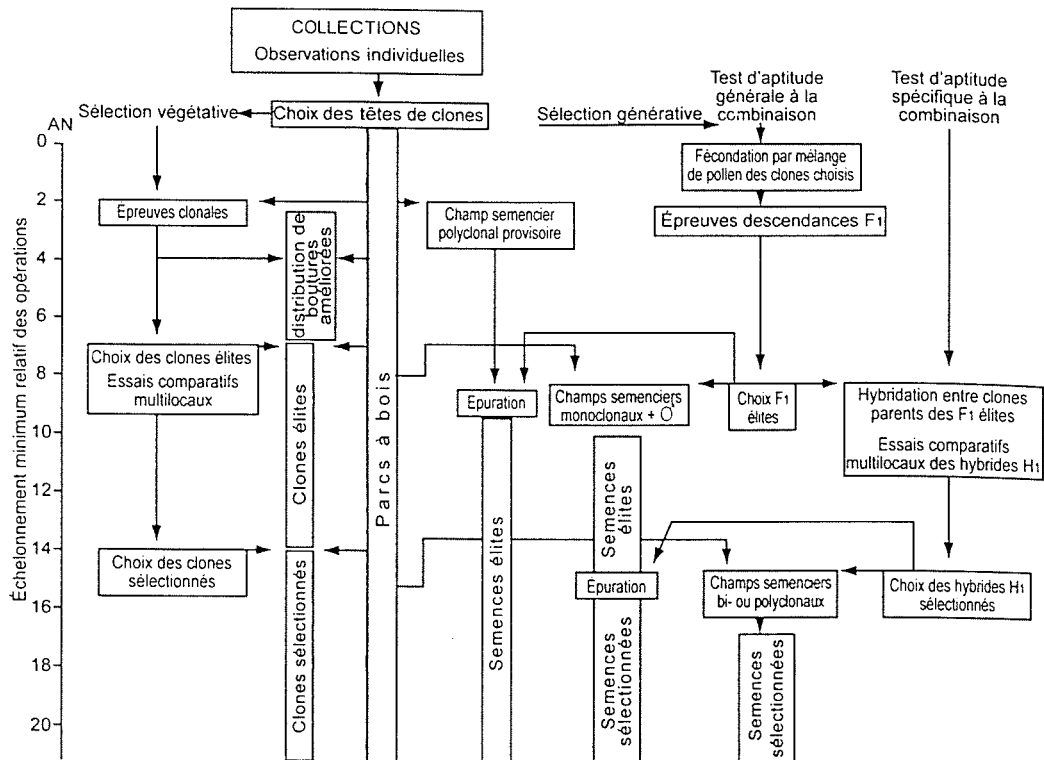


Figure .1 - Schéma de sélection des caféiers de type diploïde et allogame.

La seconde (sélection générative) vise à choisir des clones capables de fournir, par croisement entre eux, des descendance intéressantes. Elle a pour but la création, à partir de ces clones, de champs semenciers bi- ou polyclonaux, avec l'objectif de fournir aux intéressés des semences de valeur.

Les deux méthodes doivent être menées simultanément.

La sélection végétative permet d'atteindre des résultats assez rapidement, mais elle oblige à entreprendre des multiplications par bouturage à l'échelle industrielle, opération difficile et onéreuse.

La sélection générative est plus longue, mais la diffusion du matériel est moins coûteuse, car elle consiste simplement à distribuer des semences.

Collection

C'est l'ensemble **du** matériel végétal dont peut disposer l'améliorateur pour entreprendre et poursuivre ses travaux. Les observations de ce matériel portent essentiellement sur les caractères quantitatifs et qualitatifs de la production.

Le choix des têtes de clones se fait au départ des premières observations, en fonction des buts poursuivis. Le repérage des têtes de clones n'est pas obligatoirement le même pour la sélection végétative que pour la sélection générative, car il est évident que certains clones retenus pour la sélection générative du fait de certaines qualités qu'il serait souhaitable d'associer dans leur descendance, peuvent n'offrir aucun intérêt pour une sélection végétative. Inversement, certains clones, très intéressants, sont tout indiqués pour une reproduction végétative alors que, manifestement, ils ne sont pas susceptibles de transmettre de façon homogène, leurs qualités à une descendance sexuée.

Dès le choix terminé dans la collection, les têtes de clones sont bouturées immédiatement, de façon à disposer, dans les parcs à bois, d'une quantité suffisante de matériel.

Sélection végétative

On repère un grand nombre de têtes de clones parmi lesquelles on effectue un premier tri par la mise en place d'épreuves clonales. Les différents clones y sont plantés en mélange, de manière à éviter des phénomènes éventuels d'incompatibilité.

Ces essais, comparant un grand nombre de clones, ne sont pas conçus suivant des modèles très rigoureux. Ils ont pour but d'observer les clones en plantation et de permettre ainsi un triage plus sévère. Seuls ceux ayant plus de chance de se révéler intéressants sont conservés.

Après deux années de contrôle de la production, on procède au choix des meilleurs clones, appelés clones d'élite. Ceux-ci sont alors placés en essai comparatif dans chacune des zones écologiques où on désire étudier leur adaptation. Deux années de récolte permettent de repérer, dans chaque région, les clones les mieux adaptés.

Il est indispensable que l'incompatibilité de ces clones, considérés deux à deux, soit contrôlée avant de déterminer ceux **qu'il** convient d'associer en plantation.

Sélection générative

Le moyen le plus sûr de connaître la valeur d'un clone en tant que géniteur est d'étudier celle de sa descendance sans s'attacher à sa valeur propre telle qu'elle résulterait d'une épreuve clonale.

L'allogamie étant de règle chez les caféiers *canephora*, la valeur d'une descendance dépend des deux géniteurs dont elle est issue.

L'idéal serait donc d'étudier et de comparer toutes les descendance hybrides résultant des croisements deux à deux de tous les clones choisis. La réalisation d'un tel programme s'avère pratiquement impossible. Aussi, faut-il prévoir une phase intermédiaire, destinée à fournir les premières indications sur l'aptitude d'un clone à donner naissance à une progéniture intéressante.

Cette étape intermédiaire est constituée par le test d'aptitude générale à la combinaison. Celui-ci permet d'effectuer un premier tri parmi tous les clones d'abord repérés et de n'en retenir qu'un petit nombre, en vue de l'étude comparative des hybrides issus de leur combinaison deux à deux.

Pour la réalisation du test d'aptitude générale à la combinaison (*topcross*), on utilise du pollen constitué d'un mélange dont la variabilité génétique est très grande. Habituellement, le mélange comprend les pollens de tous les clones soumis à l'essai; en effet, c'est parmi eux que seront ensuite choisis les géniteurs mâles utilisés pour le test d'aptitude spécifique à la combinaison. Le test d'aptitude générale à la combinaison permettra de choisir des descendance (FI) d'élite. Les parents femelles de ces dernières seront ensuite soumis au test d'aptitude spécifique à la combinaison. Les épreuves de descendance FI sont effectuées en station; chaque fois qu'il y a possibilité, il est bon de prévoir la mise en place d'essais multiclonaux.

Pour le test d'aptitude spécifique à la combinaison (*test cross*), le nombre de clones retenus étant relativement faible, on peut comparer entre elles les descendance hybrides (H 1) qu'ils donnent par croisement deux à deux. Si N clones sont examinés, N(N-1) combinaisons sont théoriquement réalisables. On n'en étudiera que la moitié, en postulant que les croisements réciproques donnent des résultats voisins. Ces hybrides seront testés en essais multiclonaux pour déterminer le ou les mieux adaptés aux différentes zones écologiques. Une fois le choix réalisé, on reprendra les clones parents pour effectuer industriellement les croisements destinés à la production de semences sélectionnées.

Dès le début des travaux de sélection, il faut prévoir la mise en place de champs semenciers. Aussitôt le choix des têtes de clones effectué, elles sont bouturées pour constituer les parcs à bois. Ceux-ci permettront de créer rapidement un champ semencier polyclonal provisoire où sont interplantés tous les clones à l'étude.

Après les résultats du test d'aptitude générale à la combinaison, le champ semencier provisoire peut être épuré. Seuls y sont maintenus les clones "mères" des descendance FI d'élite; la distribution de semences d'élite peut donc commencer rapidement.

À ce stade, on établit de nouveaux champs semenciers, un par clone "mère" des FI d'élite. On y interplante des pollinisateurs constitués par un mélange des

autres clones. Ce sont des champs semenciers monoclonaux avec pollinisateurs qui, dès leur entrée en production, fournissent des graines d'élite.

Aussitôt que les résultats du test d'aptitude spécifique à la combinaison permettent de choisir les meilleurs croisements, certains champs peuvent être épurés par arrachage des pollinisateurs non retenus; dès lors, il est possible de fournir immédiatement des semences sélectionnées.

Lorsque les travaux de sélection touchent à leur fin et qu'il s'avère possible d'apprécier à leur juste valeur les clones parents des hybrides maintenus, on installe de nouveaux champs semenciers biclonaux ou polyclonaux ; ceux-ci assureront la livraison, en grande quantité, de semences adaptées à chaque région.

- Variétés de l'espèce *Coffea canephora*

Le remplacement de *l'arabica*, sensible à la rouille des feuilles et mal adapté aux régions équatoriales basses, chaudes et humides, a promu le développement en culture de caféiers *canephora*, dès la fin du XIXe siècle, en Afrique puis en Indonésie où ils acquièrent rapidement leurs lettres de noblesse sous la dénomination de *robusta* (qualificatif attribué à ces caféiers sur les catalogues de l'horticulteur belge Van Linden avant la première guerre mondiale). Ce sera sous le vocable de "*robusta Java*" qu'ils reviennent coloniser les plantations industrielles d'Afrique centrale et occidentale.

Dans son aire de dispersion naturelle, en Afrique (climat Af et Am de Köppen), l'espèce accuse un grand polymorphisme:

- caféiers du type Couilou : ouest africain,
- caféiers du type petit Indenie : Touba,
- _ caféiers Niaouli : zones limites forêt-savane de Côte d'Ivoire et du Bénin,
- _ caféiers *robusta*: spontanés dans la cuvette congolaise jusqu'au lac Victoria, _ caféiers Couilou gabonais: intermédiaire entre les deux modèles précédents, _ caféiers de type *ugandae* : très proche du *robusta* typique,
- caféiers *congensis* : des rives de l'Ubangi.

Tous ces caféiers diploïdes s'hybrident facilement entre eux et ont donné par croisements naturels ou artificiels des caféiers vulgarisés sous les noms:

- *conuga* : *congensis* X *ugandae*
- *congusta* : *congensis* X *robusta*

Le caféier Conilon du Brésil n'est qu'un Couilou mal orthographié lors de l'importation des semences.

.13. Amélioration **du** caféier tétraploïde et autogame (*C arabica* L.)

Tous les caféiers appartenant à l'espèce *C. arabica* ont un caractère commun ils sont autocompatibles et autogames.

- Critères de sélection

Un bon cultivar de *C. arabica* doit se caractériser par une bonne productivité une résistance suffisante aux principales maladies et ennemis et de bonnes caractéristiques commerciales de sa production.

Le café *arabica* est en effet apprécié pour la belle dimension de ses fèves, leur teneur modérée en caféine (0,6 % à 1,5 %), l'arôme suave et l'acidité qu'elles développent à la torréfaction et dans la tasse. Ces derniers caractères sont d'ailleurs souvent corrélés avec la culture des caféiers à haute altitude (milds).

- Méthodes de sélection

L'amélioration de *C. arabica* peut suivre plusieurs voies (Figure .2).

- La sélection généalogique qui consiste à multiplier, par autofécondation, certains sujets repérés dans une population et à suivre la descendance durant plusieurs générations. Le but final réside dans l'obtention de lignées homogènes quant à la productivité, la grosseur des fèves et la vigueur. Cette méthode aboutit assez rapidement à de bons résultats, mais elle atteint rapidement un plafond, impossible à dépasser.
- L'hybridation qui, par association de caractères repérés sur deux ou plusieurs sujets, permet des augmentations intéressantes de rendement, de qualité, de vigueur. La voie est longue et complexe.
- Les mutations, naturelles ou artificielles, qui concourent elles aussi à l'amélioration du caféier.

Matériel de départ

Il peut s'agir de populations, de variétés, de formes ou de lignées.

La population se compose de plants d'origine connue mais n'ayant jamais été sélectionnés. Elle peut englober plusieurs variétés. Le tout est généralement des plus hétérogène.

La variété est un groupe de plants dont les individus présentent un ensemble de caractères morphologiques et génétiques communs, qui les différencient des autres variétés de la même espèce. Néanmoins, les caféiers sont encore très différents les uns des autres. La variété la plus cultivée et la plus sélectionnée dans le monde a été le "Bourbon". Plusieurs autres présentent des caractères

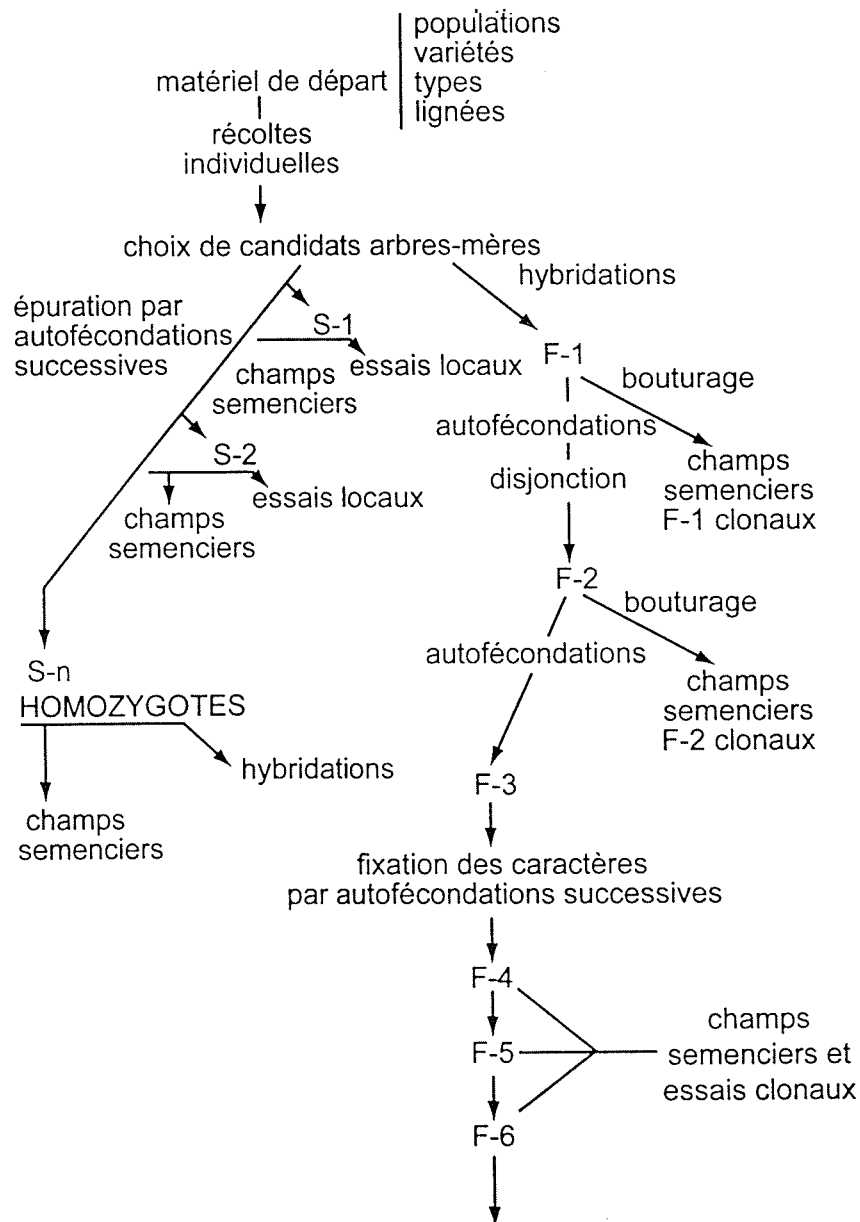


Figure .2 - Schéma de sélection de *Coffea arabica* tétraploïde autogame.

particuliers intéressants, tels que "Maragogipe" à grosses graines et le "caterra" (mutation de la variété "Bourbon") à port trapu et résistant à la sécheresse.

Le type constitue une subdivision de la variété; c'est un groupe possédant un ou plusieurs caractères constants particuliers, en plus de ceux propres à la variété.

La lignée est une descendance issue d'un seul arbre.

Le matériel de départ est en général très hétérogène. Des études très précises montrent, d'une part, la grande variabilité de la fructification du caféier et, d'autre part, tout l'intérêt économique d'éliminer les non-valeurs et de les remplacer par des lignées homogènes.

Choix des arbres-mères

Pendant longtemps, ce choix a été basé sur la productivité et sur l'état végétatif des caféiers. Cependant, ces caractères offrent peu de stabilité; des mesures exactes ne suffisent pas pour déceler les meilleurs producteurs et il est nécessaire d'y suppléer par des mesures subjectives. La production pondérale de fruits ne donne pas, à elle seule, une idée exacte de la capacité d'un arbre fruitier.

Il est actuellement reconnu qu'il n'existe aucun critère valable permettant de retenir, comme tête de lignée, un caféier plutôt qu'un autre. Il faut donc changer la technique de la sélection.

Il semble qu'il s'avère inutile de peser des récoltes individuelles pendant un nombre indéterminé d'années, de choisir les meilleurs producteurs et d'en étudier, en jardins comparatifs, la descendance sur de nombreux sujets (100 à 150 par lignée). Seule la loi du hasard régit le repérage d'un pied-mère. Il faut donc travailler sur un très grand nombre d'arbres, c'est ainsi qu'on aura le plus de chances de découvrir des caféiers d'élite. Par conséquent, il suffira de procéder à un choix assez large, basé sur la résistance aux maladies, la qualité de la fève (grosueur) et l'expérience du sélectionneur.

Sélection généalogique

Les candidats arbres-mères sont autofécondés. L'opération s'exécute aisément; le jour avant l'ouverture des fleurs, une ou plusieurs branches du caféier choisi sont mises dans un manchon en tissu bien serré, afin d'empêcher le passage de tout pollen étranger. La floraison s'effectue à l'abri du manchon et, vu l'autofertilité de *C. arabica*, l'autofécondation est assurée. L'ensemble des plantes issues de ces semences forme une lignée.

Anciennement, ces lignées autofécondées étaient mises en compétition dans des essais de première génération, la SI' chaque descendance y étant représentée par un nombre assez élevé de sujets.

Les observations se poursuivaient durant une période relativement longue, une quinzaine d'années. À cette occasion, il fut constaté qu'un pied-mère très bon producteur ne donnait précisément pas une descendance exceptionnelle, constatation qui n'était pas de nature à faciliter le travail du sélectionneur.

D'autre part, comme les lignées de première descendance ne sont pas homogènes, il était nécessaire d'effectuer des récoltes et des observations individuelles sur tous les individus, et ce, pendant de nombreuses années. En outre, sur chaque caféier, on contrôlait le poids moyen des graines et la résistance aux principales maladies.

À partir de ces données, se réalisait un nouveaux choix de candidats arbresmères, en vue de passer à la génération suivante, la S2 ; chaque lignée comptait, ici aussi, de nombreux caféiers (± 150).

Dès ce stade, les interprétations statistiques devenaient plus précises, grâce aux répétitions et à l'homogénéité plus prononcée des lignées. Quatre années de récolte étaient nécessaires pour acquérir des résultats valables. Un nouveau tri était effectué parmi cette S2 pour établir le jardin des descendance S3'

La sélection se poursuivait ainsi de génération en génération par le choix des individus d'élite dans chacune d'elles, le but final étant d'obtenir des lignées homozygotes ou homogènes quant à la production, la vigueur et la rusticité. Néanmoins, l'homozygotie n'est pas intéressante; en effet, les lignées homozygotes s'adaptent moins bien aux diverses conditions climatiques d'une aire de culture. Aussi, en pratique, ne faut-il pas dépasser la troisième ou la quatrième génération d'autofécondation.

Aujourd'hui, comme il est souhaitable de travailler sur un grand nombre d'objets, il ya lieu de modifier la technique des essais comparatifs des lignées.

Antérieurement, on jugeait indispensable d'établir des essais comportant de nombreux plants par lignées (± 150), répartis sur 6 à 10 répétitions. Suivant cette méthode, il était possible d'étudier 11 à 13 lignées différentes par hectare.

Actuellement, un peu partout dans le monde, il est établi que des essais ne comprenant que 5 caféiers par parcelle élémentaire et 3 répétitions, permettent cependant de déceler des différences significatives entre les rendements de diverses lignées. Grâce à cette méthode, il est possible de tester, par hectare, un plus grand nombre de descendance. Certains estiment qu'un seul caféier par parcelle élémentaire et 20 répétitions sont parfaitement susceptibles de donner des résultats significatifs. Dans ces conditions, il serait possible d'étudier 100 lignées différentes par hectare.

Faisant ainsi appel aux grands nombres, la sélection aurait beaucoup plus de possibilités de contribuer efficacement à l'augmentation des productions.

Les essais comparatifs de première descendance doivent être conçus comme un triage parmi de multiples lignées. Afin de pouvoir dégager des conclusions valables, les observations y seront poursuivies pendant un minimum de six années, ce qui permettra finalement de retenir du matériel de bonne qualité.

Les différentes étapes de la sélection généalogique peuvent donc se résumer comme suit:

- choix des candidats arbres-mères;
- multiplication des sujets choisis par autofécondation;
- étude en première descendance (essais comparatifs) des lignées issues des arbres-mères (six années) ;
- création, par voie végétative, de vergers semenciers à partir des individus finalement retenus.

Par cette voie, l'amélioration du caféier *arabica* n'est cependant pas susceptible de conduire à des résultats très particuliers, du fait de la relative homogénéité du matériel végétal de départ.

Hybridation

Le but des hybridations est évident; il s'agit de cumuler, chez un même individu, deux ou plusieurs caractères intéressants propres à des variétés différentes.

Les travaux des généticiens brésiliens ont été poussés dans cette voie.

C. arabica var. bourbon, par hybridation naturelle avec une variété importée de Sumatra au Brésil à la fin du siècle dernier, aurait donné le "Mundo novo". Des lignées de celui-ci, sélectionnées par l'Instituto agronomico de Campinas (Sao Paulo), présentent des qualités remarquables au point de vue de la robustesse, de la vigueur et surtout de la productivité.

Une autre variété, le "Bourbon amarelo", également très productive, résulterait, selon certains auteurs, d'un croisement naturel entre *C. arabica* var. *amarella* CHEV. et *C. arabica* var. bourbon.

Les techniques de l'hybridation sont fort simples. Les fleurs sont castrées un ou deux jours avant leur ouverture, alors que les boutons floraux sont encore bien blancs. Les étamines étant soudées à la corolle, il suffit de briser celle-ci 3 mm au-dessus de l'ovaire; on enlève le tout en tirant de bas en haut, tout en ayant soin de ne pas toucher le pistil au moment où il passe à travers l'orifice des pétales. Les fleurs castrées sont mises immédiatement sous manchon en tissu et fécondées le lendemain par frottement sur le stigmate des étamines du géniteur mâle choisi.

• Variétés de l'espèce *C. arabica*

Les cultivars les plus vulgarisés appartiennent aux variétés suivantes:

- *C. arabica* var. *typica* selon CRAMER: c'est un arbuste de port moyen à plagiotropes primaires légèrement pendantes; ramifications secondaires et tertiaires peu

abondantes; jeunes feuilles de couleur bronze, feuilles adultes vert franc à foncé, au limbe et marges peu ondulées. Fleurs blanches à ovaires biloculaires et calice rudimentaire denticulé; fruits ovoïdes; graine à albumen vert, plan convexe d'environ la mm sur 6 mm et 3-4 mm d'épaisseur; poids oscillant de 0,15 à 0,20 g. Cette variété a été définie par les sélectionneurs comme modèle standard de référence génétique. Elle porte différents noms: "Sumatra", "Nacional", "Blue mountain Jamaïque", "Puerto Rico", "Criollo", "Commun", "Arabigo", "Local bronze".

_ La variété "Bambou", qui supplante peu à peu la première variété en Amérique latine.

D'autres variétés cultivées sont issues des premières par mutation et hybridation. Ce sont:

- _ la variété "Maragogipe" qui représente le géant de l'espèce;
- _ la variété "Bourbon Chaussy" : à ramifications secondaires plus denses, aux entre-nœuds plus courts, aux jeunes feuilles de couleur verte, aux fruits plus petits et graines plus courtes et plus arrondies;
- _ le cultivar "Mun do Novo" aurait été obtenu par hybridation naturelle entre la variété "Bourbon Chaussy" et une variété importée de Sumatra au Brésil. Les différentes lignées du "Mundo Novo", sélectionnées par l'Instituto agronomico de Campinas (Sao Paulo), présentent des qualités remarquables au point de vue de la robustesse, de la vigueur et surtout de la productivité;
- _ la variété "Caturra" est une variété naine provenant d'une mutation génique simple du Bourbon. Elle présente un port ramassé du fait d'entre-nœuds très courts ; elle se différencie aussi du modèle *typica* par la forte densité de sa ramification secondaire. Les fruits et les graines sont semblables à ceux du Bourbon. Sa grande plasticité est à l'origine du succès de son extension relativement récente dans tous les pays producteurs *d'arabica*. Elle est à la base du système colombien de culture à haute densité (10000 à 30000 pieds par hectare) qui, soutenu par de fortes fumures, a permis l'obtention des plus forts rendements signalés à ce jour (8-12 t/ha);
- _ les variétés "Pache", "San Ramon", "San Bernardo": ce sont des variétés naines ou semi naines provenant d'une mutation chez la variété *typica* ;
- _ la variété "Caturra" est un descendant du croisement "Mundo Novo" x "Caturra".

.1.4. Hybridations interspécifiques

Les principales possibilités d'exploitation de l'hybridation interspécifique chez les caféiers peuvent être illustrées par trois réalisations différentes.

• Les hybrides *congusta*

La première réalisation concerne les hybrides *congusta* issus du croisement *C. canephora* x *C. congensis*. L'intérêt de ces hybrides fertiles et vigoureux réside

dans leur adaptation aux sols d'alluvions temporairement inondés et la production des grains de belle taille pouvant entrer dans des mélanges avec le café *arabica*.

• **Amélioration du café *robusta***

La deuxième réalisation concerne l'amélioration de la qualité du café *robusta* (*C. canephora*) produit en Afrique par hybridation avec l'espèce *C. arabica*. Le *CofJea canephora* est parfaitement bien adapté au climat chaud et humide de la forêt guinéenne. Il produit un café marchand qui n'offre pas les qualités gustatives de *l'arabica*. Sa teneur en caféine est très élevée (2,6 %). La grosseur de ses graines est réduite.

Le *CofJea arabica* ne se cultive avec succès qu'à des altitudes supérieures à 1 000 m. Il produit un café marchand présentant de bonnes qualités gustatives. Sa teneur en caféine est réduite (1,2 %), ses graines sont volumineuses.

En 1962, l'Institut Français du Café et du Cacao (IFCC) a entrepris de réunir dans une même plante les qualités des deux espèces: la rusticité, la productivité, la résistance ou tolérance à la rouille du *C. canephora* ; la valeur organoleptique et la faible teneur en caféine du *C. arabica*. Les hybrides interspécifiques obtenus sont connus sous le nom de "*arabusta*".

Au cours d'une première étape, on créa un *canephora* tétraploïde. Ce dernier n'existe pas dans la nature. Il convenait donc d'induire cette tétraploïdie par des moyens artificiels. La duplication des chromosomes a été réalisée au moyen d'un produit mitoclasique, la colchicine.

Ce *canephora* tétraploïde présente un certain nombre de caractéristiques: -les ramifications plagiotropes primaires s'insèrent au tronc suivant un angle aigu, l'arbre produit de nombreux rejets orthotropes ;

- les feuilles sont plus coriaces, plus épaisses, plus gaufrées, plus grandes que celles des formes diploïdes;
- la densité stomatique au niveau des feuilles est inférieure à celle de la forme diploïde;
- les fleurs sont plus volumineuses, plus charnues, plus turgescents, le pollen est émis nonnalemellt mais il est plus gros;
- les fruits sont plus arrondis et plus gros, les fèves également sont plus grosses;
- la fertilité est réduite mais il existe de nettes différences entre génotypes tétraploïdes ; de plus, il est reconnu que la fertilité des autotétraploïdes est susceptible d'amélioration dans les descendances génératives;
- la maturation des fruits est plus longue (11 à 13 mois contre 10 à 11 mois chez les diploïdes correspondants) ;
- les formes autotétraploïdes de *C. canephora*, tout comme les formes diploïdes, sont autostériles ;

- l'aptitude au bouturage de tous les clones tétraploïdes s'est avérée excellente.

Création de ['arabusta

Les hybridations ont été réalisées dans le sens:

C. canephora tétraploïde Q x *C. arabica* C qui s'est avéré le meilleur.

Étude de ['arabusta

Les *arabusta* font preuve d'une précocité marquée et d'une bonne productivité.

La grosseur des fèves est très satisfaisante (supérieure à 21 g pour 100 fèves). Ils sont résistants ou tolérants vis-à-vis de la rouille (*Hemileia vastatrix*).

Les clones *d'arabusta* se caractérisent par une remarquable aptitude au bouturage. La qualité du breuvage fourni par les *arabusta* est bien supérieure à celle des *robusta*. L'infusion possède à la fois du corps et de l'arôme. Certains de ces cafés seraient excellents et auraient une liqueur dont l'arôme est analogue à celui des cafés *arabica*.

Un grand nombre de ceux-ci auraient cependant un goût intermédiaire. La teneur en caféine semble supérieure à la moyenne des taux observés chez les deux parents mais fluctue entre des valeurs extrêmes relativement éloignées. Les hybrides bénéficient d'un niveau d'autofertilité relativement élevé. L'obtention *d'arabusta* autocompatibles au même titre que *C. arabica* devrait permettre d'envisager la mise en place de parcelles monoclonales ou oligoclonales au départ d'un petit nombre de clones hauts producteurs.

Si la création de *l'arabusta* doit être considérée comme une belle réussite agronomique, les résultats économiques obtenus semblent moins prometteurs. *L'arabusta* ne se vend pas ou mal sur les marchés internationaux car ses caractéristiques se situent entre celles du *robusta* et de *l'arabica*.

• Amélioration du café *arabica*

La troisième réalisation se rapporte aux possibilités d'amélioration de *C. arabica* par l'incorporation de facteurs de résistance aux maladies, portés par les autres espèces de caféiers tout en gardant ses qualités. Les chercheurs brésiliens ont transféré aux cultivars de *C. arabica* des caractères de résistance à la rouille orangée et à l'antracnose provenant de *C. canephora* par le relais de l'hybride "*arabusta*". Ce dernier a subi 4 à 5 cycles de croisements en retour par le parent *C. arabica* var. Mundo Novo. Par sélection d'individus équilibrés on a créé une population de caféiers tétraploïdes fertiles et résistants aux maladies. Cette population porte le nom d'!catu. L'hybride de Timor pourrait avoir emprunté la même voie (Figure .3).

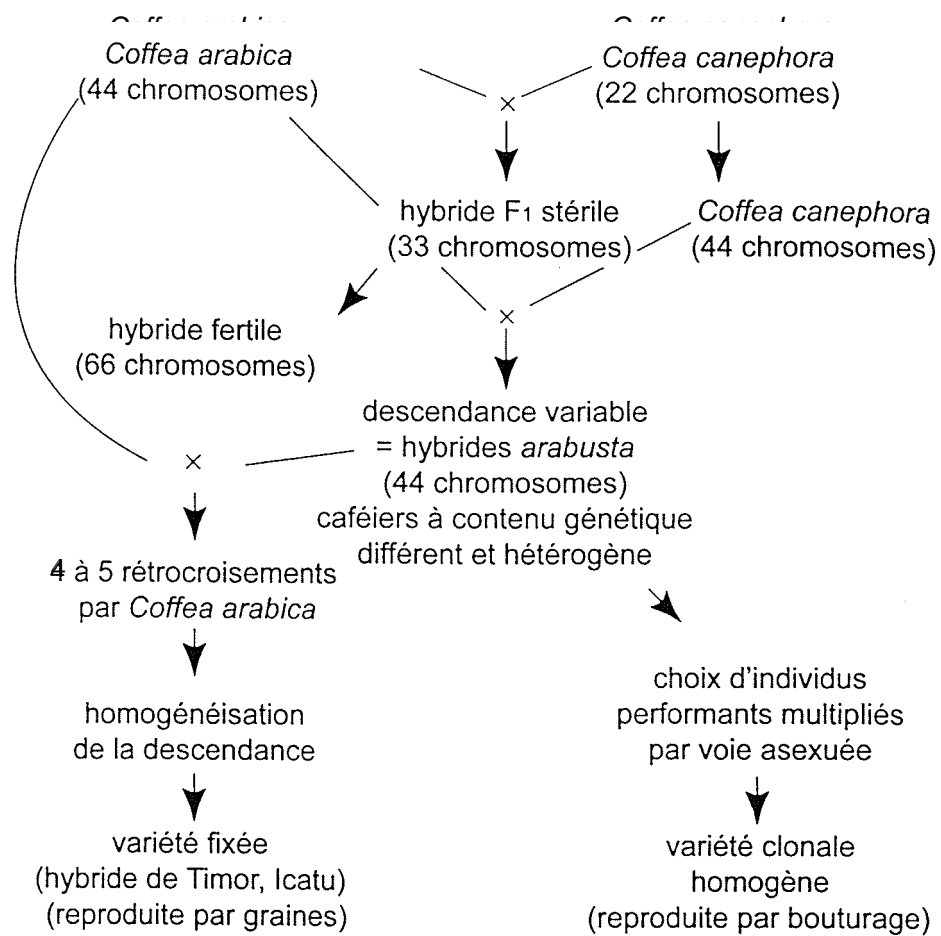


Figure .3 - Amélioration du caféier par hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* et *Coffea canephora*.

.1.5. Nouvelles technologies appliquées aux caféiers

Ce n'est que récemment que des marqueurs moléculaires ont été utilisés pour étudier la diversité génétique du genre *Coffea*. C'est à l'aide de marqueurs RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) que les premiers travaux ont porté sur la diversité de *C. arabica*.

D'autres données existent aujourd'hui sur la variabilité moléculaire de *C. canephora*. Elles mettent en évidence une structuration du matériel sauvage de cette espèce en cinq groupes distincts répartis en Afrique centrale et de l'ouest. Les premières données obtenues devraient permettre aux améliorateurs d'augmenter la variabilité de leurs collections, en grande partie composées de

matériel cultivé, fortement redondant. Une grande partie du matériel sauvage provenant de prospections n'est pas représentée dans ces collections.

.1.6. Multiplication et diffusion des nouvelles sélections

Elles peuvent se pratiquer, soit par voie végétative, soit par voie générative. La voie végétative a le triple avantage de multiplier des structures génétiques hétérogènes quelle que soit leur origine, d'assurer leur reproduction conforme sous la forme d'un clone homogène et de limiter au strict minimum le nombre de cycles de sélection.

D'emploi courant pour *C. canephora*, la sélection clonale est aussi la méthode d'exploitation la plus efficace des nouveaux caféiers issus d'une hybridation interspécifique.

Quant à la culture *in vitro*, elle est d'application aussi bien sur *C. canephora* que sur *C. arabica* et sur les hybrides *arabusta*, aussi bien par microbouturage que par néofonctionnement des bourgeons.

Rappelons cependant que l'emploi de variétés clonales comporte divers inconvénients : elle accroît la transmission de maladies virales et favorise les épidémies et l'évolution de certains parasites.

La voie générative est utilisée de manière assez générale dans la culture de *C. arabica*, espèce typiquement autogame.

Chez *C. canephora*, on peut créer des champs semenciers biclonaux ou polyclonaux qui assurent la livraison, en grande quantité, de semences productives et bien adaptées.

7.2. Le cacaoyer

Theobroma cacao L. $2n =$

20

. 2.1. Botanique

Le cacaoyer appartient à la famille des *Sterculiaceae*, tribu des *Byttnerieae*, genre *Theobroma*.

Les espèces du genre *Theobroma* se rencontrent à l'état naturel dans les étages inférieurs des forêts humides d'Amérique tropicale, entre 18° de latitude Nord et 15° de latitude Sud à une altitude généralement inférieure à 1 250 m.

Les cacaoyers sont des arbres à feuilles persistantes caractérisées par une croissance apicale du tronc limitée par la formation d'un verticille terminal de 3 à 5 branches. Les feuilles sont simples, entières, penninervées à phyllotaxie variable sur les orthotropes mais distique sur les plagiotropes. Les inflorescences apparaissent sur le tronc et sur les branches. Les fleurs sont hermaphrodites, régulières pentamères (**Figure .4**).

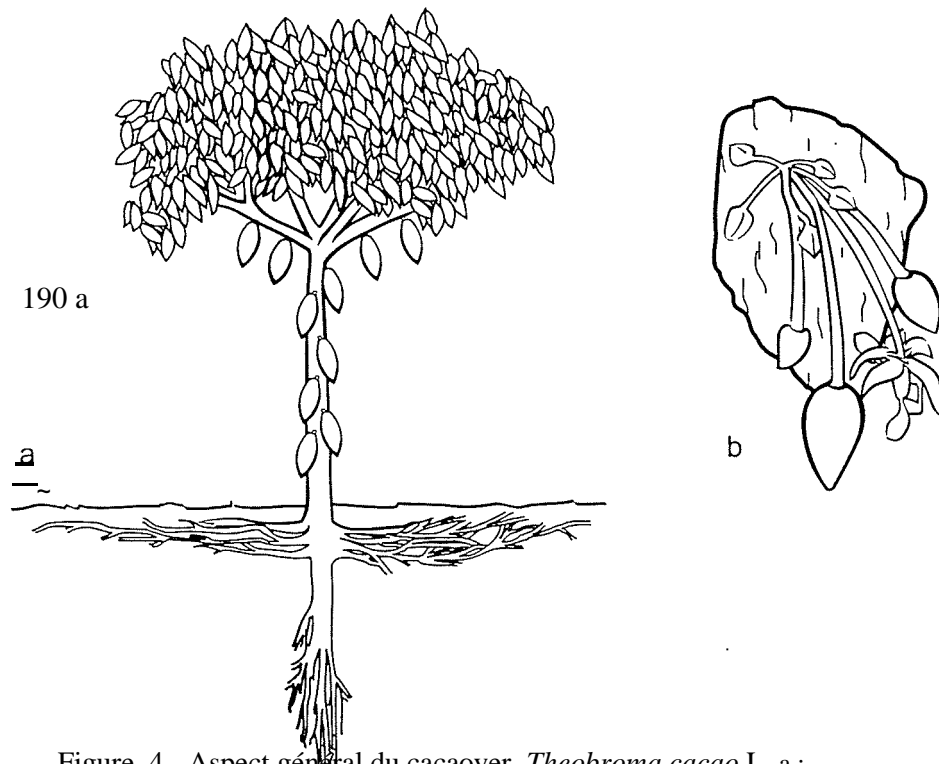


Figure .4 - Aspect général du cacaoyer, *Theobroma cacao* L. a : structure de la plante - b: coussinet floral.

Le système racinaire est composé d'un pivot pénétrant profondément dans le sol et de racines latérales traçantes se développant uniquement dans la partie superficielle du sol.

• Classification **du** genre *Theobroma* (d'après CUATRECASAS, 1964) 1

Germination épigée

Croissance de la tige par rejets adventifs orthotropes latéraux et subterminaux

Staminodes érigés

1-1 Staminodes linéaires, épais et obtus

Çuculles des pétales uninervées et limbes sessiles

Etamines dianthérifères

Branches primaires se formant par verticille de trois

Feuilles tomenteuses à la face inférieure

Section *Rhytidocarpus*

Une espèce: *T. bicolor* HUMS. & BONPL.

} -2 Staminodes linéaires, subulés ou lancéolés

Cuculles des pétales trinervées

1-2-1 I, -imbres des pétales sessiles

Etamines di- ou trianthérifères

Branches primaires par verticille de trois Feuilles
tomentueuses à la face inférieure **Section**

Dreallites

Cinq espèces: *T. sylvestre* MART.
T. speciosum WILLD.
T. velutillum BENOIST.
T. glaucum KARST.
T. bemoullii PITTIER

1-2-2 I, -imbres des pétales stipités

Etamines dianthéridères

Branches primaires par verticille de cinq

Feuilles glabres ou pubescentes à la face inférieure **Section**

Tlleobroma

Une espèce : *T. cacao* L.

2 Germination hypogée

Croissance pseudoapicale de la tige, 1?ranches
primaires par verticille de trois, Etamines
trianthéridères,

2-1 Staminodes flexueux dans le bourgeon,

Cuculles des pétales,

Limbes des pétales absents

Section *Telmatocarpus*

Deux espèces: *T. gileri* CUATR.

T. microcompum MART.

2-2 Staminodes réfléchis dans le bourgeon, réfléchis ou érigés à l'anthèse Cuculles
des pétales à 7 nervures

2-2-1 Staminodes obovales allongés ou lancéolés Limbes des
pétales très développés, stipités **Section *Glossopetalum***

Douze espèces: *T. cirmolinae* CUATR.

T. stipularum CUATR.

T. simiarum DONN. SMITH.

T. chocoense CUATR., sp. nov.

T. angustifolium MOCINO & SESSE.

T. grandiflorum SCHUM.

T. abovatium KLOTZSCH ex. BERNOUILLI.

T. sinuosum PAYON ex. HUBER.

T. canumanense PIRES & FROES.

T. subincanum MART.

T. hylaeum CUATR. sp. noy.

T. nemorale CUATR.

2-2-2 Staminodes obovales aussi larges que longs

Limbes des pétales très réduits

Section *Andropetalum*

Une espèce: *T. mammosum* CUATR. & LEON.

Toutes ces espèces (22) présentent un certain intérêt, mais seule l'espèce *Theobroma cacao* est cultivée commercialement pour la production de graines destinées à la préparation de chocolat ou à l'extraction de beurre de cacao. C'est un arbre de petite taille, pouvant atteindre 5 à 7 m de hauteur, parfois plus lorsqu'il pousse à l'état sauvage dans la forêt.

La constitution chromosomique du cacaoyer a été étudiée par plusieurs auteurs. Le noyau diploïde du cacaoyer présente toujours 20 chromosomes, ce nombre $2n = 20$ étant également observé chez les autres espèces du genre *Theobroma*. Tous les chromosomes sont de petite taille. Il existe chez le cacaoyer cultivé une très grande variabilité variétale. Les variétés rencontrées sont réparties en trois grands groupes: Criollo, Forastero amazonien, Trinitario.

1°) Le groupe Criollo comprend tous les cacaoyers présentant les mêmes caractéristiques que les anciens Criollo vénézuéliens et en particulier tous les types à cotylédons blancs anciennement cultivés en Amérique centrale et au Mexique.

Les cacaoyers Criollo présentent les caractéristiques suivantes:

- les cabosses de couleur rouge ou verte avant maturité, sont généralement allongées, profondément marquées de sillons profonds, leur péricarpe est verruqueux, mince, facile à couper, le mésocarpe est mince et peu lignifié,
- les fèves sont dodues, de section presque ronde, avec des cotylédons blancs ou légèrement pigmentés.

Les Criollo fournissent un cacao fin, très aromatique, son amertume est légère, ils sont utilisés en chocolaterie pour la fabrication de produits de luxe. Malgré leurs très grandes qualités, ils ne sont pratiquement plus cultivés aujourd'hui à cause de leur vigueur réduite et de leur sensibilité aux maladies.

2°) Le groupe Forastero amazonien comprend tous les cacaoyers courants du Brésil, de l'Afrique de l'Ouest, de l'Équateur et d'autres pays d'Amérique centrale et du nord de l'Amérique du Sud. Ils semblent être originaires de la Haute Amazonie et avoir été naturellement dispersés dans le bassin de l'Amazonie.

Les caractères botaniques des Forastero amazoniens sont les suivants: - les fleurs

présentent des staminodes pigmentées de violet,

- les cabosses sont de couleur verte (jaune à maturité), de forme variable allant de la forme "Criollo", à la forme "Amelonado" (peu ou pas de sillons, surface lisse, extrémités arrondies ou émoussées),
- le péricarpe est épais et difficile à couper par suite de la présence d'un mésocarpe fortement lignifié,

- les fèves plus ou moins aplaties présentent des cotylédons de couleur pourpre foncé à l'état frais.

Les Forastero produisent la presque totalité des cacaos courants provenant du Brésil et de l'Afrique de l'Ouest. À eux seuls, ils fournissent plus de 80 % de la production mondiale de cacao.

Il existe de très nombreux cultivars de type Forastero qui sont très proches du cacao commun du Brésil dont ils seraient issus.

Deux types de Forastero un peu particuliers sont:

- le cacaoyer "Nacional" ou "Arriba" de l'Équateur qui produit un cacao assimilé sur les marchés internationaux aux cacaos fins par opposition aux cacaos courants fournis par les autres Forastero ;
- les cacaoyer~ "Amazon" ou "Upper Amazon" ou "Haut Amazonien" ou "Amazonien". C'est sous ces appellations que sont réunies les populations issues de sélections faites à Trinidad à partir du matériel collecté par POUND en Haute Amazonie, à l'occasion des prospections qu'il y entreprit en 1937 et 1938 à la recherche d'arbres présentant des caractères de résistance à la maladie du balai de sorcière, causée par un champignon (*Crinipel/is perniciososa*).

Ces Amazoniens présentent un grand intérêt par leurs caractères de vigueur et de précocité qui sont remarquables. Quant aux "hybrides amazoniens" (descendances hybrides résultant du croisement entre un clone amazonien et un clone non amazonien), ils sont plus intéressants encore, car ils présentent un hétérosis souvent exceptionnel. La création d'hybrides avec d'autres clones Forastero ou Trinitario permet, en outre, de remédier au principal défaut des cacaoyers "Amazoniens" à savoir la petite taille de leurs fèves.

Il est certain que les hybrides amazoniens sont appelés à prendre une part de plus en plus importante dans la production des cacaos de qualité courante.

3°) **Les Trinitario** sont des populations hybrides de cacaoyers qui ont pour origine un croisement entre Forastero amazonien et Criollo. Leurs caractères botaniques sont difficiles à définir. Ce sont ceux d'une population hybride très polymorphe où l'on peut observer tous les types intermédiaires entre les Criollo, d'une part, et les Forastero, d'autre part. Une très grande disjonction de caractères est observée dans les descendances de Trinitario.

Les Trinitario fournissent actuellement 10 à 15 % de la production mondiale de cacao et sont essentiellement cultivés dans tous les pays où furent autrefois cultivés les Criollo (Mexique et Amérique centrale, Trinidad, Colombie, Venezuela, etc.).

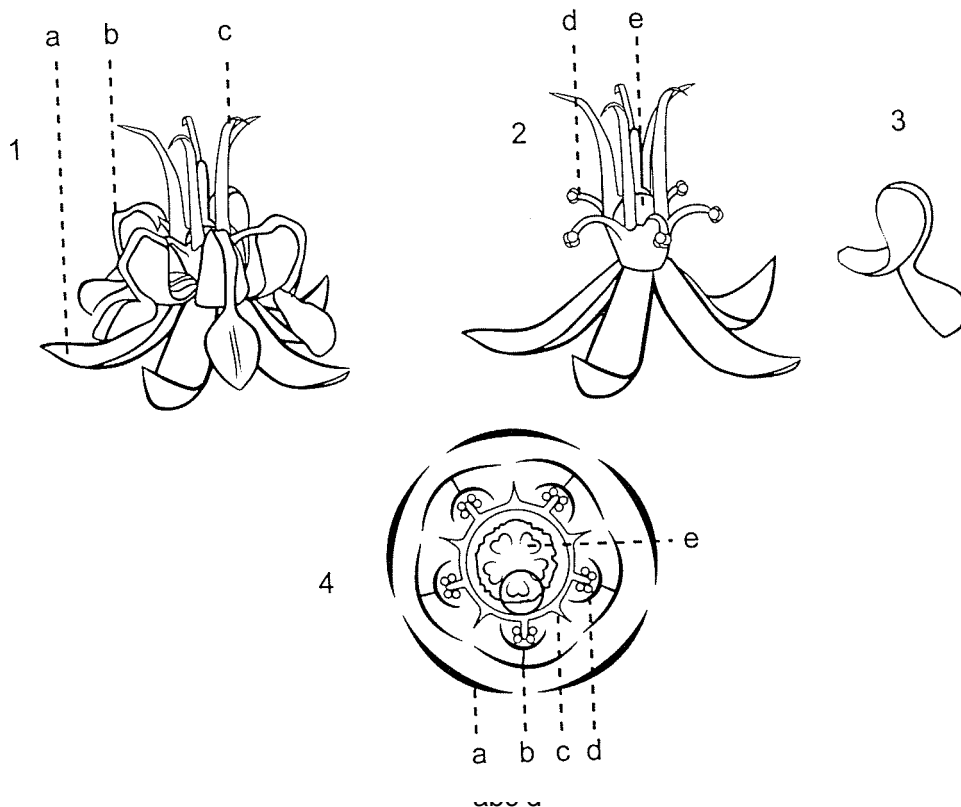


Figure .5 - Fleur de *Theobroma cacao* L.

1. fleur complète - 2. fleur débarrassée de la corolle - 3. pétale isolé constitué de la ligule et de la cuculle - 4. diagramme floral
 a: sépale - b : pétale - c : staminode - d : étamine fertile - e : gynécée.

de couleur brun violacé sont érigés et entourent le style, les étamines sont recourbées vers l'extérieur, vers les pétales auxquelles elles sont opposées, les anthères se trouvant logées à l'intérieur des cuculles de chacun des pétales correspondants. Chaque étamine est double, provenant en réalité de la fusion de deux étamines, et les anthères comportent quatre sacs polliniques.

La floraison proprement dite, c'est-à-dire l'épanouissement du bouton floral, débute l'après-midi lorsque les extrémités des sépales commencent à s'entrouvrir, et est complète aux premières heures de la matinée suivante. La déhiscence des anthères survient dès l'épanouissement de la fleur et le pollen est immédiatement fonctionnel. Les grains de pollen, sphéroïdes, sont de petite dimension (16 à 23 microns). Leur viabilité est de courte durée et ne dépasse pas 48 heures dans les conditions naturelles. La pollinisation du cacaoyer est essentiellement entomophile. Elle est assurée par de petits moucheron parmi lesquels on a identifié plusieurs espèces du genre *Forcipomya*.

Une grande proportion de fleurs produites par le cacaoyer ne sont pas pollinisées et tombent après 48 heures. Un cacaoyer produit, en effet annuellement plusieurs milliers de fleurs alors que quelques dizaines de fruit~ seulement sont fOffilés.

On pourrait penser qu'une pollinisation plus efficace serait susceptible d'augmenter la production. Pour certains, la pollinisation ne serait pas un facteur limitant de la production et un pourcentage plus élevé de fleurs pollinisées conduirait à une perte plus importante de jeunes fruits, le nombre de fruits viables restant à peu près constant. Pour d'autres, au contraire, il serait possible d'augmenter considérablement la production en effectuant une pollinisation manuelle. L'intérêt de cette méthode dépendrait du niveau de présence des insectes pollinisateurs.

La fécondation et le phénomène d'incompatibilité

La germination du grain de pollen sur le stigmate, la pénétration dans le style du tube pollinique et son développement jusqu'au sac embryonnaire de l'ovule s'effectuent au plus tard 24 heures après la pollinisation, les tubes polliniques pénétrant à peu près simultanément dans tous les ovules de la fleur. La fusion des gamètes est complète trois jours après la pollinisation.

On observe cependant chez le cacaoyer de nombreuses incompatibilités qui se traduisent par une chute de la fleur pollinisée consécutive à une absence de fécondation. L'auto-incompatibilité est de règle chez les Forastero "hautsamazoniens", fréquente chez les Trinitario, rare chez les autres Forastero cultivés.

Ce phénomène d'incompatibilité va revêtir une très grande importance pour tous les travaux de sélection effectués sur le cacaoyer .

• Reproduction **par** voie végétative

Nous rappelons rapidement ce mode de reproduction car le bouturage est une méthode de multiplication utilisée par les organismes de recherche chargés notamment des travaux de sélection ainsi que par les organismes de pré vulgarisation chargés de la multiplication du matériel sélectionné en vue de sa distribution aux agriculteurs.

. 2.3. Principaux critères de sélection

Les améliorateurs poursuivent généralement un double objectif: -

- l'augmentation de la productivité,
- l'amélioration de la qualité.

Le premier objectif, d'ordre **quantitatif**, tend à obtenir des clones, des populations hybrides, à haut potentiel de productivité, résistants ou tolérants aux principales maladies et aux principaux insectes.

Le deuxième objectif, d'ordre **qualitatif**, tend à obtenir un produit homogène dont les caractères physiques satisfont les exigences des industriels en présentant de bonnes qualités organoleptiques.

D'autres caractères, plus secondaires, peuvent être recherchés: adaptation au climat, précocité, non étalement des récoltes, etc.

,2.4. Méthodes de sélection

Deux méthodes de sélection peuvent être utilisées: la méthode de sélection végétative et la méthode de sélection générative.

Une sélection végétative comporte la comparaison des clones et la distribution, par boutures, des meilleurs d'entre eux.

Une sélection générative vise à créer des croisements intervariétaux afin de bénéficier du phénomène d'hétérosis dans la première génération et de réunir dans la population obtenue les caractères intéressants des clones parents.

Les meilleurs résultats acquis par les centres de recherche dans le domaine de la sélection du cacaoyer ont été pendant longtemps essentiellement obtenus par sélection végétative. Les clones sélectionnés, reproduits par bouturage, permettaient d'obtenir des plantations homogènes dont les rendements élevés étaient toujours supérieurs à ceux fournis par les populations issues de semis.

Toutefois, depuis un certain nombre d'années, l'utilisation du matériel végétal découvert par POUND en Haute Amazonie et introduit à Trinidad en 1939, puis en Afrique à partir de 1944, a donné un nouvel essor à la sélection générative.

Ce matériel haut-amazonien présente, en effet, des caractéristiques fort intéressantes au point de vue de sa précocité, de sa productivité et de sa rusticité. Utilisé comme géniteur en hybridation avec un matériel d'origine différente, il permet d'obtenir, en première génération, des descendances manifestant une très grande vigueur hybride. La sélection a alors pour but de rechercher, parmi ces familles hybrides, celles qui associent aux caractères de vigueur, de précocité et de productivité dus aux géniteurs haut-amazoniens les caractères propres au second géniteur choisi pour hybridation (notamment en ce qui concerne la qualité des fèves).

Rappelons que les cacaoyers haut-amazoniens présentent un caractère particulier qui, sur le plan pratique, est d'un très grand intérêt: tous sont en

principe auto-incompatibles. Ce phénomène permet de reproduire en grande quantité les semences hybrides sélectionnées sans être obligé de faire appel à la pollinisation artificielle; il suffit en effet de mettre en place en champ semencier isolé et en mélange, les deux clones parents de l'hybride que l'on désire reproduire. Toutes les cabosses récoltées sur les arbres auto-incompatibles proviennent obligatoirement, alors, de l'hybridation souhaitée.

Si la voie générative permet d'obtenir une forte augmentation du potentiel de productivité grâce à la vigueur hybride et une diffusion plus facile et moins onéreuse en milieu rural, la voie végétative ne doit cependant pas être abandonnée.

Les deux méthodes doivent être menées de front dans un programme de sélection (Figure .6).

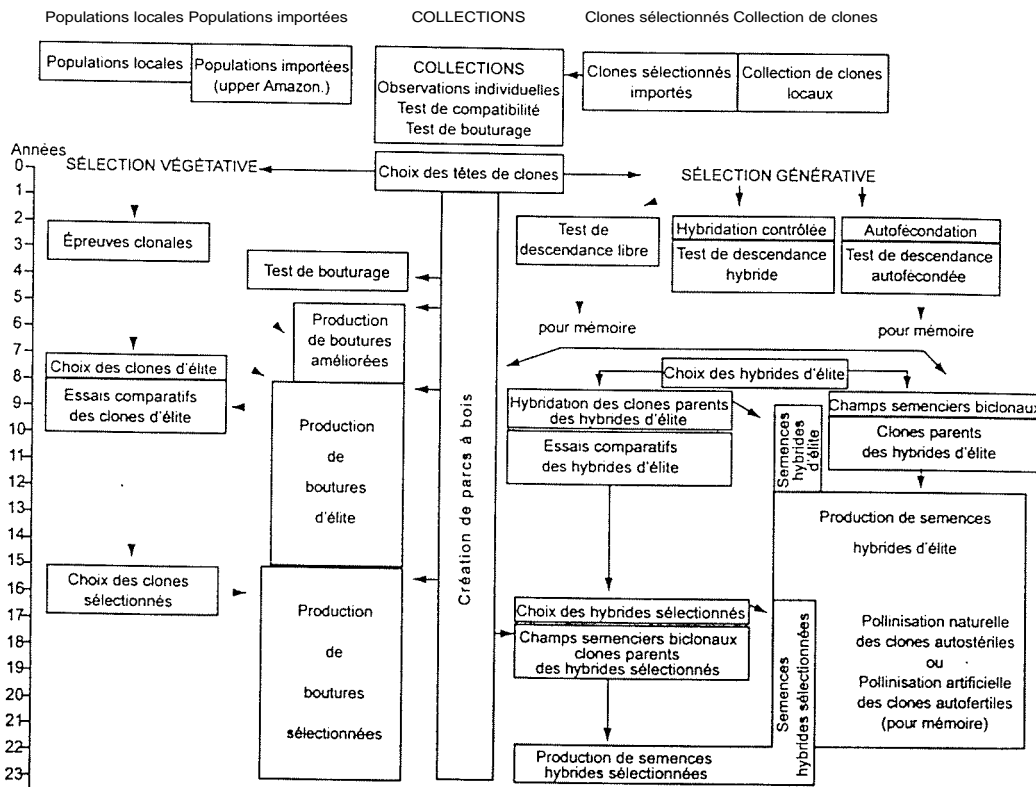


Figure .6 - Schéma de sélection du cacaoyer (d'après l'Institut Français du Café et du Cacao).

• Collections

Le matériel en collection constitue la base de travail pour le sélectionneur. Ce matériel sera le plus large possible. Les arbres en collection doivent être suivis individuellement et les résultats mentionnés sur fiche.

Quelques analyses sont très importantes: le poids moyen d'une cabosse, le nombre moyen de fèves par cabosse, le poids moyen d'une fève, le nombre de cabosses nécessaires pour fournir 1 livre (0,453 kg) de cacao marchand (*pod index*).

Les collections sont généralement constituées, d'une part, d'arbres repérés au cours des prospections dans les cacaoyères locales et, d'autre part, de clones ou de populations étrangères. Des observations, pendant plusieurs années consécutives, sur les arbres en collection permettent de retenir un certain nombre d'individus (têtes de clones) dont un ou plusieurs caractères sont dignes d'intérêt.

Des boutures de chaque tête de clone sont mises en parc à bois où sera prélevé le bois de bouturage nécessaire à la multiplication végétative. Cela permet :

- _ de posséder un certain nombre d'exemplaires de l'arbre initial en cas de disparition de celui-ci;
- _ de prélever, pour la sélection végétative, des boutures pour les épreuves clonales et, par la suite, pour la production des boutures à distribuer;
- _ d'utiliser, pour la sélection générative, les fleurs nécessaires aux hybridations et de prélever des boutures pour la constitution des champs semenciers biclonaux.

- La sélection végétative

Cette sélection consiste à mettre en épreuves clonale les têtes de clones retenues. Le témoin, généralement un clone local, permet de comparer les résultats des différents essais. Les premières épreuves clonales permettent de choisir les clones d'élite après analyse statistique de trois à cinq récoltes normales. Par après, la mise en place d'essais multiclonaux permettra le choix de clones sélectionnés adaptés aux différentes régions cacaoyères du pays.

La sélection végétative présente de l'intérêt pour la fixation et la multiplication végétative, dans un but de vulgarisation, d'arbres particulièrement intéressants soit pour la qualité de leur produit, soit pour leur haute productivité.

- La sélection générative

Tests d'hybrides

Le but de cette sélection est la distribution de semences sélectionnées aux planteurs. Par pollinisations artificielles contrôlées, on cherche à obtenir des familles légitimes bénéficiant du phénomène d'hétérosis et alliant des caractères intéressants complémentaires .

Le matériel végétal "haut-amazonien" offre dans ce but de grandes possibilités. Les FI contrôlées sont testées en essais comparatifs dont l'analyse statistique, après trois à cinq récoltes normales, complétée par des tests qualitatifs, permet de désigner ce qu'il convient d'appeler des "hybrides élites".

On ne peut évidemment détenir a priori, parmi les têtes de clones, les bons géniteurs. Chaque clone de la collection devrait être hybridé avec tous les autres. Si n clones existent en collection, ce système obligerait l'améliorateur à réaliser $n(n-1)$ croisements. Cela peut mener très loin.

Afin de rester dans des limites raisonnables de travail, il faut non seulement chercher à grouper les clones par catégorie, mais aussi déterminer le sens des croisements entre ces groupes.

On n'utilisera généralement, comme géniteur femelle, que les clones auto-incompatibles afin d'avoir la certitude que les graines récoltées sont bien hybrides.

On choisira toujours des parents à caractères complémentaires, génétiquement éloignés dont les hybrides présentent une vigueur maximale.

Tenant compte de ce qui précède, la plupart des améliorateurs utilisent comme parents femelles des cacaoyers "haut-amazoniens" (U.P.A.) dont la quasi auto-incompatibilité a été établie et vérifiée.

Les hybrides obtenus bénéficieront alors de la précocité, de la vigueur, de la productivité et de la résistance à certaines maladies des "hauts-amazoniens" alors que le caractère petite fève à forte teneur en théobromine et tanins devra être amélioré par le parent mâle, qui devra présenter de grosses fèves, de casse claire, de saveur recherchée et être surtout très éloigné génétiquement des hauts-amazoniens.

Le matériel végétal distribué aux planteurs devra être identique à celui testé dans les essais, les semences hybrides devront être recréées en grandes quantités dans des champs semenciers en jardins grainiers isolés et plantés avec des boutures des deux clones parents du croisement retenu. Seules les graines récoltées sur le clone autostérile sont distribuées.

En ce qui concerne la durée du programme, rappelons que si les premières graines hybrides sont récoltées au cours de l'année 0, les premières distributions de semences d'élite n'interviendront qu'au cours de la 14^e année.

Création de cacaoyers hybrides

Elle se pratique par pollinisation artificielle. L'isolement des fleurs se réalise la veille de la fécondation; à partir de 16 h, des boutons floraux sont isolés sur

les deux clones parents du croisement à réaliser. L'isolement se pratique au moyen d'un tube plastique transparent de 4 à 5 cm de long et de 1 cm de diamètre. L'une des extrémités du tube est fermée par un tissu à mailles très serrées, maintenu par un fil de fer. À l'autre extrémité un bourrelet de pâte à modeler permet de fixer hermétiquement le tube sur son support. Les boutons floraux non retenus et les insectes sont éliminés du coussinet floral sur lequel se pratique l'isolement.

La pollinisation a lieu le lendemain matin de bonne heure. L'opérateur prélève les fleurs isolées ouvertes sur l'arbre considéré comme parent mâle et se rend directement auprès de l'arbre utilisé comme parent femelle. Les opérations réalisées sur la fleur femelle isolée et ouverte consistent:

- à dégager les organes femelles (stigmate et style) par ablation de un ou deux staminodes,
- à prélever avec des pinces l'extrémité d'une étamine de la fleur mâle,
- à frotter les anthères sur le style et le stigmate de la fleur femelle, en essayant de coller l'étamine sur le stigmate,
- à remettre en place le tube d'isolement pendant 48 heures. Il n'est généralement pas nécessaire de castrer les fleurs femelles puisque les croisements se font, dans la mesure du possible, sur des arbres auto-incompatibles. Chaque opération réalise un type de croisement par jour.

Les étiquettes sont disposées près de la fleur pollinisée. Elles sont maintenues par une épingle fichée dans l'arbre et comportent le nom de la FI, la date et le numéro de la fécondation. Un mois après la fécondation, un fil coloré est attaché autour du pédoncule du jeune fruit (ou chérelle) pour éviter toute confusion.

Les résultats sont faibles, les pourcentages de réussite ne dépassant pas 15 à 20%.

Les semis, la croissance en pépinière, la mise en place de ces hybrides se pratiquent de manière classique.

Les essais comparatifs des différents hybrides testés se font par un dispositif expérimental qui doit convenir à des cultures arbustives pérennes. Généralement, le choix se porte sur des essais comparatifs de type "Fisher randomisé", en 4 répétitions, aux parcelles élémentaires constituées par une ligne de 10 ou 12 arbres. Nous présentons à la **figure.?** un schéma d'essai élémentaire dans lequel sont testés 13 hybrides avec un témoin, soit 14 objets. Les lignes sont numérotées de 1 à 64, ce qui évite de parler de répétition lors des observations ou récoltes. L'écartement est de 3 m entre les lignes et de 2,5 m dans la ligne, soit une densité de 1 320 arbres/ha.

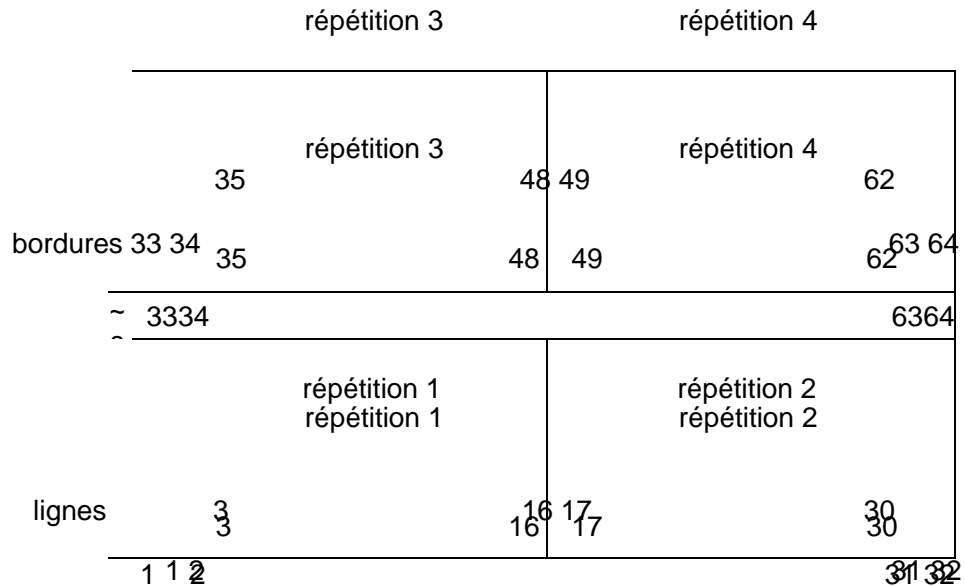


Figure .7 - Schéma d'un essai élémentaire d'évaluation d'hybrides de cacaoyer.

- Observations et analyses

Avant l'entrée en production, certaines observations de végétation doivent être réalisées:

- le recensement des arbres ayant formé leur couronne (15 à 18 mois après la plantation),
- la mesure de la circonférence du tronc à 10 cm du collet et à hauteur de la couronne; ces mensurations sont effectuées à 12, 18 et 30 mois après la plantation.

Ils fournissent une idée du développement végétatif et indiquent la vitesse de croissance. Ces observations sur le développement végétatif des cacaoyers seront, par après, comparées avec la productivité des différents hybrides afin d'observer s'il existe une corrélation entre les deux données. Le critère principal pour le choix des "hybrides d'élite" reste cependant la productivité. Les récoltes sont pratiquées ligne par ligne. Les productions sont pesées et on note le nombre de cabosses récoltées.

La plupart des autres analyses se font sur échantillon: - poids

moyen d'une cabosse,

- poids moyen d'une fève,

Le prélèvement de rameaux à boutures se pratique tôt le matin dans le parc à bois. Les rameaux prélevés sont transportés au centre de bouturage où les boutures sont préparées en vue de leur mise en propagateur. La base de la bouture est taillée à l'aide d'un greffoir bien affûté tandis que le limbe des feuilles conservées sur les boutures est réduit de moitié ou des deux tiers. Les boutures ainsi préparées sont traitées aux hormones (acide 13-indolbutyrique). Elles sont ensuite déposées directement dans le milieu d'enracinement du propagateur. Elles sont maintenues dans les propagateurs pendant 4 à 6 semaines. Lorsqu'elles sont enracinées, elles doivent, avant d'être transférées sous ombrière, être progressivement acclimatées aux conditions nouvelles auxquelles elles seront exposées. Cette acclimatation dure environ une semaine et se pratique soit dans le propagateur même soit dans des bacs spécialement aménagés.

Le repiquage des boutures se pratique aujourd'hui dans des sacs en matière plastique. À ce moment, les boutures sont encore très fragiles. Elles sont généralement disposées sous une première ombrière dite d'endurcissement où sera maintenu un ombrage assez dense, n'admettant que 25 à 30 % de lumière.

Après 6 à 8 semaines d'endurcissement, les cacaoyers sont transférés sous l'ombrière de stockage où ils séjournent jusqu'au moment de la plantation.

L'ombrage est plus réduit (40 % de lumière). La durée de stockage sous ombrière est de 6 mois minimum. Il faut, en effet, que les boutures atteignent un stade de développement suffisant pour permettre un bon départ en plantation.

- **Dans le cadre d'une sélection générative**, les semences hybrides sont créées en grandes quantités dans des champs semenciers isolés et plantés avec des boutures de deux clones parents du croisement retenu.

Seules les graines récoltées sur le clone autostérile seront distribuées. Les champs semenciers sont généralement composés d'un cacaoyer mâle pour huit cacaoyers femelles, chacun de ceux-ci étant diagonalement en contact avec au moins un plant mâle. Le champ semencier est généralement ceinturé par une bordure de plants mâles.

VIII. AMELIORATION DES PLANTES A FRUITS 1

8.1. Les bananiers et les plantains

Musa spp.

X= ■■

,1.1. Botanique

Les bananiers appartiennent à l'ordre des *Scitaminales*, famille des *Musaceae*, sous-famille des *Musoïdeae*, genre *Musa*. Le genre *Musa* comprend un grand nombre d'espèces séminifères et une quantité importante de variétés à fruits parthénocarpiques, c'est-à-dire à fruits contenant une pulpe abondante et complètement dépourvue de graines. Le bananier est une herbe de grande taille dont chaque pseudo-tige donne un régime unique, puis meurt, remplacé par ses ramifications latérales ou rejets. La pérennité est assurée par voie végétative.

- Les espèces séminifères

Un premier groupe d'espèces se caractérise génétiquement par un nombre chromosomique de base égal à 10. Il se partage en deux sections:

- la section des *Australimusa* qui comprend cinq espèces dont *Musa textilis* NEE,
- la section *Callimusa* qui comprend cinq ou six espèces de petite taille aux inflorescences érigées, verticales.

Un second groupe d'espèces se caractérise par un nombre chromosomique de base égal à II. Il comprend deux sections:

- la section *Rhodochlamys* se caractérise par une inflorescence érigée, avec très peu de fleurs sous chaque bractée. L'espèce *Musa ornafa* ROXB. est à la fois ornementale et rustique,
- la section *El/musa* est nettement plus intéressante. Ses espèces possèdent des inflorescences plus ou moins retombantes, les fruits sont nombreux par main et disposés en deux rangées.

Les deux espèces les plus importantes de la section *Eumusa* sont *Musa acuminata* COLLA et *Musa balbisiana* COLLA. Elles ont contribué, par divers processus génétiques, à l'apparition des bananiers à fruits sans graines, comestibles.

M. acuminata est une espèce polymorphe, à aire géographique très étendue: Iles Samoa, Indonésie, Péninsule indochinoise et Malaisie.

On y trouve plusieurs sous-espèces: -
microcarpa (BECC.) SIMMONDS
 - *burmannica* (SIMMONDS) DE LANGHE
 - *burmannicoides* DE LANGHE
 - *banksii* (MUELL., F.) SIMMONDS
 - *malaccensis* (RIDLEY) SIMMONDS
 - *siamea* SIMMONDS

Elles diffèrent les unes des autres par des caractères morphologiques et par de? comportements génétiques différents.

Tous les *M acuminata* sont des bananiers plutôt frêles, dont la hauteur n'excède pas 3-4 m, formant des touffes épaisses, donnant des fruits aux graines viables.

M balbisiana est un bananier plus vigoureux, largement distribué en Inde, en Birmanie, aux Philippines. Le régime pend verticalement, porte des fruits courts, renflés, peu redressés. L'espèce présente peu de variations.

- Variétés à fruits parthénocarpiques

Cultivars ne possédant que des génomes acuminata (A) 1°)

Cultivars diploïdes (AA)

La variété "figue sucrée" la plus connue du groupe possède un feuillage vertjaune, des fruits courts à pulpe fortement sucrée. Elle fournit la banane-dessert par excellence, mais sa peau fine et délicate empêche l'exportation.

2°) Cultivars triploïdes (AAA)

Ce groupe comprend les grandes variétés cultivées en vue de l'exportation: "Gros Michel", "Lacatan", "Poyo", "Grande Naine", "Naine", mais également la variété "Figue rose" ("Red").

*Cultivars possédant des génomes **acuminata et balbisiana** (AB)*

1°) Cultivars diploïdes

Un diploïde hybride naturel (AB) appelé "Nay paovan" est surtout connu en Inde.

2°) Cultivars triploïdes à dominance *aCliminafa* (AAB)

Ce groupe comprend, entre autres, le sous-groupe des plantains, bananiers dont les fruits ne sont consommés que cuits. On y trouve la "banane créole" ou "French plantain", la "Come".

Parmi ces triploïdes, on trouve également la "figue-pomme" ("Silk") qui doit son nom à la saveur aigrette de la pulpe de ses fruits.

3°) Cultivars triploïdes à dominance *balbisiana* (ABB)

Il n'existe qu'un seul représentant de ce groupe qui soit largement répandu dans tous les continents, c'est le "Cacambou", ("Blugpoe" des Britanniques) à fruits consommés cuits. Cette variété est souvent utilisée pour l'ombrage des jeunes caféiers et cacaoyers en Amérique tropicale.

4°) Cultivars tétraploïdes

Un tétraploïde naturel (ABBB) appelé "Klue teparod" trouvé en Thaïlande n'est réparti que dans les pays limitrophes.

.1.2. Système de reproduction

Un bananier produit généralement une surface foliaire importante avant de fleurir. Le premier indice de la phase florale est visible sur le dôme méristématique qui prend une forme conique. Des primordiums floraux sont différenciés sans arrêt et commencent leur développement tandis que simultanément, la tige portant l'inflorescence terminale s'allonge pour se dégager au milieu des dernières feuilles.

Le développement et la montée de l'inflorescence, d'abord lents, s'accélèrent. Après avoir surmonté les résistances les plus fortes aux niveaux successifs des

pétioles, l'inflorescence (**Figure .1**) apparaît à l'extérieur et se dégage au centre du bouquet foliaire. Elle comprend tout d'abord plusieurs mains de fleurs femelles et ensuite des groupes de fleurs mâles (**Figure .2**). Ces derniers comportent un ovaire rudimentaire et des étamines développées alors que les fleurs femelles ne portaient que des staminodes.

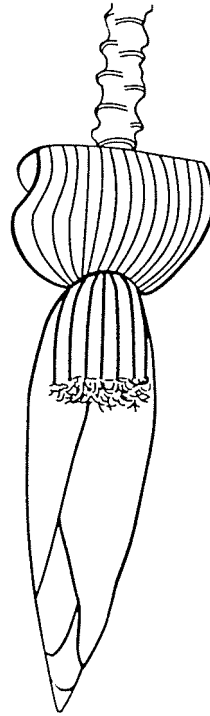
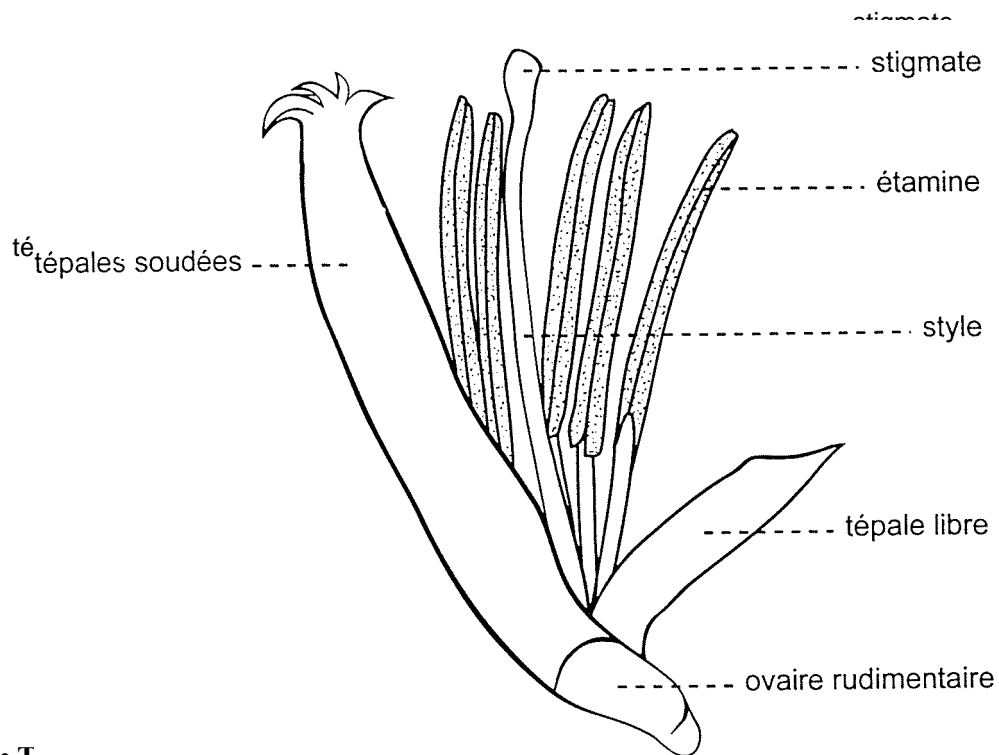


Figure .1 - F

Les bractées avec leurs groupes de fleurs, sont portées par une excroissance de l'axe floral, le coussinet. Bractées et fleurs ont une insertion indépendante. Les fleurs femelles sont dépourvues de couche d'abscission permettant aux futurs fruits de se maintenir sur le coussinet; par contre, bractées et fleurs mâles en possèdent et tombent après un temps relativement court.

Les fleurs femelles découvertes ont l'apex dirigé vers le bas, elles sont étroitement pressées les unes contre les autres; leur ovaire a déjà une grande longueur, les pièces florales flétrissent vite puis tombent plus ou moins rapidement, le stigmate desséché pouvant persister jusqu'à la récolte. L'ovaire peut se développer sans l'intervention du pollen, d'ailleurs absent dans les fleurs mâles de la plupart des variétés commerciales.



• T

Figure .2 — Fleur de bananier.

inf

glomérules de fleurs femelles sont découvertes en premier lieu, avant les fleurs mâles et que la réceptivité de la fleur femelle est de courte durée.

Pour procéder à une hybridation artificielle dans des conditions rigoureuses, il faut éviter toute pollinisation extérieure due à l'action des divers et nombreux insectes visiteurs attirés par les excréments des nectaires et ensacher l'inflorescence la veille de l'ouverture de la première bractée normale (c'est-à-dire couvrant des fleurs).

On peut également protéger le bourgeon mâle sur lequel on prélève du pollen: cette dernière opération est aisée et se fait du bout de l'ongle ou à l'aide d'une écharde de bambou. Le pollen est déposé sur les stigmates et la housse de protection remise en place. Les régimes pollinisés sont découverts quelques jours après l'hybridation. Ils se développent normalement et seront récoltés à un âge avancé.

Les graines, souvent peu nombreuses quand le parent femelle est à fruits parthénocarpiques, doivent être recherchées avec soin dans les bananes dont on écrase la pulpe.

.1.3. Critères de sélection

De très lourdes menaces parasitaires pèsent actuellement sur les productions de plantains et de bananes de dessert :

- la cercosporiose noire (ou black Sigatoka) due à *Mycosphaerella fijiensis*,
- la maladie de Panama due à *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*,
- la maladie de Moko due à la bactérie *Pseudomonas solanacearum*,
- différents virus (par exemple celui du *bunchy top*).
- les nématodes,
- le charançon.

Face à toutes ces menaces de plus en plus pressantes, les techniques de lutte chimique sont, ou bien inefficaces, ou bien inutilisables, ou bien trop onéreuses. La seule alternative, pour éviter la disparition des productions, est l'amélioration de la résistance aux principales maladies et en priorité à *Mycosphaerella fijiensis* qui constitue aujourd'hui la menace la plus importante.

.1.4. Méthodes d'amélioration •

Sélection massale

Les collections sont enrichies par des prospections de matériel végétal. Celui-ci est évalué dans diverses stations, avec une attention particulière pour la résistance aux maladies. Ce type de sélection doit permettre de faire face à une éventuelle disparition d'un type variétal et de pouvoir proposer des variétés de remplacement. Aujourd'hui, la micropropagation par culture *in vitro* est simple, facile et applicable à une large panoplie d'espèces et de génotypes. Elle permet la multiplication, la production et la fourniture d'un matériel de plantation propre, indemne de maladies. La faible surface nécessaire pour multiplier un très large nombre de plantes permet de fournir les sélectionneurs en bananiers provenant du monde entier. Cela permet à chaque région bananière de pouvoir tester sur place la valeur des cultivars provenant du monde entier.

• Amélioration par hybridation

La stérilité des bananiers cultivés constitue certainement une contrainte pour l'amélioration génétique par des hybridations conventionnelles. Cependant, la stérilité n'est pas totale et certaines variétés peuvent produire des graines par pollinisation manuelle. Deux stratégies de croisement ont été mises en œuvre

pour la création de variétés améliorées. La première stratégie vise l'obtention de variétés tétraploïdes: certaines variétés triploïdes produisent de rares gamètes non réduits ($n = 3$, $x = 33$) qui, après pollinisation avec une variété diploïde, sont à l'origine de graines contenant des embryons tétraploïdes capables de germer. Cette stratégie a été choisie pour introduire chez les bananiers cultivés des résistances à des maladies (maladie des raies noires, maladie de Panama) et des ravageurs (nématodes) ou des caractéristiques agronomiques intéressantes (régimes plus gros, meilleur rejetonnage, taille réduite). La démarche se heurte, néanmoins, à de nombreuses contraintes: faible fertilité du parent triploïde femelle, travail lourd de pollinisation, port retombant, fruits impropres à la consommation en raison de la présence de graines très dures de l'hybride tétraploïde, etc. Une deuxième stratégie, mise au point par le CIRAD, vise l'obtention de variétés triploïdes à partir d'un matériel végétal diploïde, naturel ou amélioré. Les meilleurs diploïdes sont traités à la colchicine pour former des auto- ou des allotétraploïdes. Ceux-ci sont croisés avec d'autres diploïdes afin de produire des individus triploïdes. Ce travail de création variétale repose sur une bonne connaissance des ressources génétiques disponibles parmi les bananiers diploïdes. La démarche offre plusieurs avantages: conservation des structures génétiques diploïdes sélectionnées au sein des triploïdes finaux, utilisation de parents sauvages très fertiles, ce qui permet de produire de nombreux descendants triploïdes et d'opérer une sélection plus facile, obtention d'un produit triploïde possédant la stérilité souhaitée (pour la consommation des fruits). Cette méthode a été exploitée, notamment, pour l'obtention de variétés résistantes aux maladies.

. 1.5. Utilisation des biotechnologies cellulaires et moléculaires

Des recherches sur la production de bananiers transgéniques en utilisant la technique du DNA recombinant ont débuté dès 1990. L'introduction de ces méthodes a été rendue nécessaire par l'échec des méthodes d'amélioration conventionnelle dans la recherche de résistances à des maladies virales et fongiques.

Trois types de techniques ont été utilisées:

- l'électroporation de protoplastes dérivés de cellules embryogéniques en suspension,
- le bombardement de cellules embryogéniques,
- la co-culture de méristèmes blessés avec *Agrobacterium tumefaciens*.

Des gènes codés pour leurs protéines antifongiques montrant une forte activité dans des cultures *in vitro* ont été introduits dans un cultivar de bananier plantain et les plantes transgéniques qui ont été produites attendent d'être testées au champ.

3 Conclusion

Dans ce cours, nous avons essayé d'expliquer les grands principes qui sont à la base de l'amélioration des plantes cultivées et plus particulièrement des plantes cultivées dans les régions tropicales.

Les problèmes relatifs à l'amélioration des plantes cultivées représentent une tâche immense qui ne prendra jamais fin. L'intérêt pour cette discipline est considérable et le nombre de chercheurs intéressés par cette discipline est de plus en plus croissant.

L'amélioration génétique d'une espèce végétale cultivée demande l'intervention de plusieurs disciplines pour la création variétale proprement dite. Il faut noter que la génétique appliquée l'amélioration des plantes est une science en très rapide évolution. Depuis la découverte du code génétique, les manipulations génétiques deviennent de plus en plus précises et efficaces. L'enjeu est à la fois scientifique (percer les secrets de l'hérédité) et pratique (améliorer la quantité et la qualité de la production végétale).

Les moyens utilisés sont très nombreux et variés. Ils vont des techniques traditionnelles ou classiques (qui ont fait leurs preuves depuis longtemps) aux techniques plus modernes (la transgénèse, les biotechnologies) qui donnent déjà des résultats très intéressants et qui sont porteuses d'immenses espoirs dans un avenir très proche.

L'améliorateur actuel fait un travail de plus en plus délicat. Il fait appel à plusieurs disciplines dont la génétique formelle, le génie génétique, les biotechnologies, l'expérimentation au champ, la prévision des marchés de demain, etc.

Il faudra espérer que les plantes cultivées vont continuer à être améliorées par les chercheurs compétents, pleins de bon sens et possédant une grande connaissance du milieu et du monde agricole et cela pour le bien être du producteur et du consommateur.

4 Références bibliographiques

ANGLADETTE A., 1966. Le riz. Paris. Maisonneuve et Larose : 930 p.

BAUDOIN J.P., DEMOL J., LOUANT B.P., MARI CHAL R., MERGEAI G., ETOUL E., 2002. Amélioration des plantes. Applications aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Les Presses Agronomiques de Gembloux: 581 p.

BOURMONT C., 1988. Amélioration des plantes. Université Catholique de Louvain (UCL) : 239 p.

CAMPBELL N., REECE J., 2004. Biologie, Adaptation et révision scientifique de Richard Mathieu, Ed. de Boeck Université, 2^e édition: 1364 p.

DOBELMAN J., 1976. Riziculture pratique. Volume 1. Riz irrigué Paris: 229 p ..

DOBELMAN J., 1976. Riziculture pratique. Volume 2. Riz pluvial. Paris: 131 p.

GALLAIS A., 1990. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Paris Masson: 589 p.

GRIFFITHS A.J.F., GELBART W.M., MILLER J.F., LEWONTIN R.C., 2001. Analyse génétique moderne. Traduction de la 1^{ère} édition américaine par Chrystelle Sanlaville, Révision scientifique de Dominique Charmot et Denise Aragnol. De Boeck Université: 676p.

GRIFFITHS A.J.F., *et al.*, 1997. Introduction à l'analyse génétique. De Boeck Université: 914p.

GUTTMAN B., GRIFFITHS A., SUZUKI D., CULLIS T., 2004. Genetics. A Beginner's guide. Oneworld Oxford: 308 p. Site Web : www.oneworld-publication.com.

HARTL D.L., JONES E.W., 2000. Genetics. Analysis of genes and genomes. Jones and Bartlett Publ., Boston: 858 p.

HARTL D.L., JONES E.W., 2003. Génétique. Les Grands principes. Cours et exercices corrigés. Troisième Edition. Licence 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} années, PCEM, PCEP - CAPES. DUNOD, Paris: 609 p.

KLUG W.S., CUMMINGS M.R., SPENCER C.A., 2005. Concepts of genetics. Eighth Edition: 700 p.

LUTTGE U., KLUG M., BAUER G., 1992. Botanique. Traité fondamental. Paris. Tec et Doc - Lavoisier: 574 p.

PIERCE B.A., 2005. Genetics. A Conceptual Approach. W.H. Freeman and Company. New York: 720 p. Site web : www.whfreeman.com.

PRIMROSE S., TWYMAN R., OLD R., 2004. Principes de génie génétique. Traduction de la 6^{ème} édition anglaise par DOMENJOUR L. et CUNIN R. De Boeck : 400 p.

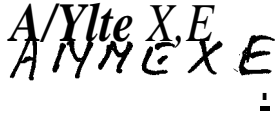
RAVEN P.H., EVERT R.F., EICHHORN S.E., 2000. Biologie Végétale. De Boeck Diffusion s.a. Editions De Boeck Université. Paris: 944 p.

ROSSIGNOL J.L., BERGER R., DEUTSCH J., FELLOUS M., LAMOUR ISNARD C., OZIER-KALEGEROPOULOS O., PICARD M., DE VIENNE D., 2000. Génétique - Gènes et génomes. Cours et questions de révision (Paris: DUNOD) : 232 p.

SAMBAMURTY A.V.S.S., 2005. Genetics. Second edition. Alpha Science: 903 p.

TOURTE Y., BORDONNEAU M., HENRY M., CATHERINE., 2005. Le monde des végétaux. Organisation, physiologie et génomique. DUNOD, Paris.

VANDEVENNE R., 1984. Production et contrôle des semences de riz en zone tropicale. Mémoire et travaux de l'IRA T n° 4. Nogent-sur-Marne, France - IRA T : 497 p.



Glossaire

Ce glossaire explicite un certain nombre de termes particuliers à l'amélioration des plantes, à l'exclusion de la terminologie courante.

Acides aminés

Aminoacides composants des protéines.

Addition (plante d'origine d')

Plante possédant le nombre de chromosomes diploïde complet de l'espèce receveuse auquel s'ajoute(nt) un ou plusieurs chromosomes étrangers.

Addition disomique (plante d'origine d')

Plante comprenant $2n + 2$ chromosomes exogènes différents.

Addition monosomique (plante d')

Plante comprenant un chromosome exogène en plus du nombre de chromosomes $2n$ de l'espèce.

Addition polysomique (plante d')

Plante comprenant, outre une garniture chromosomique normale, une série indéterminée de chromosomes exogènes de natures différentes.

Adénine

Base purique qui s'apparie à la thymine dans la double hélice d'ADN.

ADN (acide désoxyribonucléique)

Macro-molécule organique, de structure hélicoïdale, polymère de désoxyribonucléotides, matériel génétique de toutes les cellules.

AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)

Marqueur moléculaire.

Alkylant (produit)

Produit capable de fournir aux bases de l'ADN des radicaux méthyl ou autres.

Allèles

États différents du gène au niveau d'un même locus.

Alléomorphes

Structures différentes du gène.

Allogame (plante)

Plante à fécondation croisée.

Allogamie stricte

La fleur ne peut être fécondée que par du pollen provenant d'autres individus.

Allopolyploïde

Polyploïde issu de l'union de deux jeux de chromosomes et de leur doublement ultérieur.

Allopolyploïdie

Phénomène qui provoque la création d'un allopolyploïde.

Amphidiploïde

Allopolyploïde dans lequel il n'y a pas d'appariements entre génomes différents lors de la méiose grâce à la présence d'un facteur de diploïdisation. Les amphidiploïdes se comportent comme des diploïdes.

Amphidiploïdie

Phénomène qui provoque la création d'un amphidiploïde.

Amphiploïdie

Stock chromosomique provenant du cumul des chromosomes des géniteurs.

Anatrophe (ovule)

Type d'ovule chez qui le micropyle est situé à l'opposé de la chalaze et du placenta.

Anémophile (plante)

Plante à fécondation croisée dont le pollen est transporté par le vent.

Androcée

Ensemble des organes mâles d'une fleur.

Aneuploïdie

État chromosomique ne correspondant pas à un multiple du nombre génomique caractéristique de l'espèce ($2n \pm$ un certain nombre de chromosomes, inférieur au nombre génomique x).

Anthèse

Ensemble des événements qui se succèdent depuis l'éclosion jusqu'à la fanaison de la fleur.

Anticorps

Substance défensive engendrée par l'organisme; concourt au mécanisme de l'immunité.

Apogamie

Graine produite par une cellule quelconque du sac embryonnaire, donc sans intervention d'une fécondation.

Apomixie

Reproduction sexuée sans fécondation.

Apomictique

Se dit d'une plante à reproduction sexuée sans fécondation.

Aposporie

Apomixie facultative de certaines graminées.

Appariement méiotique

Appariement à la méiose des chromosomes homologues ou homéologues.

Aptitude à la combinaison

Bonne balance de relation entre individus ou populations permettant des performances améliorées.

Aptitude générale à la combinaison

Recherche d'une bonne balance générale de relation entre individus et populations.

Aptitude spécifique à la combinaison

Recherche d'une bonne balance spécifique de relation entre individus.

ARN (acide ribonucléique)

Molécule "adaptateur" qui reconnaît à une extrémité un acide aminé et à l'autre le code en triplets de bases.

ARNm (acide ribonucléique messager)

Molécule d'ARN transcrite à partir d'un gène et qui contient l'information sous forme codée de la séquence en acides aminés d'une protéine.

ARNt (acide ribonucléique de transfert)

Intervient dans la synthèse des protéines. Permet d'interpréter l'information génétique codée portée par l'ARN messager.

Asyndèse

Non appariement de chromosomes homologues.

Autofécondation

Fécondation autogame sans apport pollinique étranger.

Autogame

La fleur femelle est principalement fécondée par le pollen de l'individu auquel elle appartient.

Autogamie

Fécondation à partir d'ovules et de pollen appartenant à la même plante.

Auto-incompatibilité

Ovules non fécondables par le pollen de la même fleur ou des autres fleurs situées sur la plante.

Autopollinisation

Obligation pour un individu, par des pratiques appropriées, à accepter son propre pollen.

Autopolyploïdes

Cellules possédant plus de deux jeux de chromosomes d'un même génome.

Autosyndèse

Appariement de chromosomes parfaitement homologues.

Back-cross (voir Rétrocroisement)**Bandes** (chromosomiques)

Concourent à la morphologie d'un chromosome et permettent de les identifier.

Biotechnologies

Technologies s'appliquant à transformer les êtres vivants.

Biotype

Élément de la biotypologie qui étudie les traits caractéristiques en vue de déterminer des types particuliers d'animaux ou de plantes.

Bractéoles

Petites bractées.

Cal

Amas de cellules indifférenciées ou peu différenciées, formé sur un organe de la plante.

Callogène (substance)

Substance susceptible d'induire la formation d'un cal.

Carpelles (ou macrosporophylles)

Pièces florales dont l'ensemble soudé forme le pistil des fleurs.

Caryotype

Garniture chromosomique complète d'un individu telle qu'on peut l'observer en métaphase mitotique.

Centres d'origine (Vavilov)

Régions d'origine de plantes cultivées qui correspondent à des zones de diversité maximum.

Centre de diversité

Centre d'origine, non seulement des espèces cultivées mais de l'agriculture elle-même.

Centre d'accumulation

Centre où la variation génétique s'est accumulée au cours des millénaires sous l'effet de facteurs écologiques ou anthropiques.

Centres de gènes

Surfaces limitées où sont concentrées des potentiels génétiques importants.

Centromère

Constriction primaire du chromosome à laquelle les fibres du fuseau s'attachent lors de la division cellulaire.

Chimère génétique

Individu hétéropléide n'ayant qu'une partie de son patrimoine polyploïdisé, l'autre évoluant normalement.

Chromosome

C'est le support de l'hérédité. Il est formé d'ADN dont la structure porte l'information génétique.

Chromosomes homologues

Chromosomes morphologiquement et qualitativement semblables.

Cléistogame (espèce)

Espèce dont la fécondation autogame est réalisée avant l'anthèse.

Codon

Triplet de base de l'ARNm codant pour un acide aminé.

Colchicine

Produit mitoclasique extrait de la colchique des prés qui possède un effet inhibiteur sur le fuseau dont il détruit les microtubules.

Composite

Population synthétique créée à partir de lignées peu purifiées.

Consanguinité

Fécondation entre parents d'origine et de constitution génétiques très voisines. Peut provenir d'une série d'autofécondations conduisant à 1 'homozygotie.

Couronne staminodiale

Dans la fleur, couronne de staminodes ou étamines non fonctionnelles,

Crossing-over

Échange de régions correspondantes entre chromosomes homologues, produit par leur cassure et leur resoudure croisée.

Culture *ill vitro*

Culture d'explants végétaux sur milieu artificiel.

Cybrides

Cytoplasmes hybrides.

Cytoplasme

Substance vivante de la cellule retenue par la membrane et contenant le noyau et divers organites.

Cytosine

Base pyrimidique qui s'apparie avec une guanine dans la double hélice d'ADN.

Délétion

Disparition d'un fragment de chromosome.

Dérive génétique

Changement de la fréquence allélique au cours des descendance.

Didynames

Qualifie des étamines alternativement longues et courtes.

Dioïque (plante)

Espèce dont les fleurs unisexuées mâles et femelles sont portées par des individus différents.

Diversité génétique

Variabilité de nature génétique.

Domestication

Transformation des plantes sauvages en plantes cultivées.

Dormance (graine)

Laps de temps nécessaire à une graine pour germer normalement.

Double hélice

Structure du chromosome découverte par Crick et Watson.

Double monosomique

Addition de deux fois le même chromosome exogène.

Drupe

Fruit composé d'un exocarpe, d'un mésocarpe, d'un endocarpe à l'intérieur duquel on trouve une amande.

Duplication

Doublement du nombre de chromosomes.

Écotype

Forme particulière prise par une espèce vivante adaptée à un milieu bien déterminé.

Effet de position

Position d'un gène par rapport à un autre.

0 Embryoïde

Embryon néoformé dans les cultures *in vitro*.

Embryon somatique

Embryon néoformé à partir de tissus somatiques.

EMS (méthyl sulfonate d'éthyle)

Agent mutant chimique.

Endocarpe

Partie la plus interne du fruit.

Endonucléases de restriction

Enzymes qui découpent avec précision à des endroits précis la molécule d'ADN.

Enzyme

Molécule protéique catalysant les réactions biochimiques.

Enzyme de restriction

Enzyme qui coupe une chaîne d'ADN au niveau des séquences nucléotiques courtes et spécifiques.

Épicarpe

Pellicule qui recouvre le fruit.

Épistasie

Dominance d'un gène sur tout autre gène non allélique.

Eucaryotes

Organismes dont les cellules sont dotées d'un noyau.

Euploïdie

État chromosomique comportant un nombre entier de répétitions du génome caractéristique de 1 l'espèce.

Exocarpe

Partie la plus externe du fruit.

Explant

Fragment d'une plante mis en culture *in vitro*.

FI

Première filiation après hybridation.

Fardeau génétique

Mutations défavorables présentes mais non exprimées.

Fécondation allogame

Fécondation croisée.

Filiation unipare

Descendance tendant au retour à un des parents ou descendance constituée d'un seul individu.

Fuseau

Microtubules qui permettent l'ascension anaphasique des chromosomes.

Fusion de protoplastes

Hybridation somatique.

1 Gamétophyte

Végétal gamétogène.

Gene pool

Diversité génétique disponible chez une espèce.

Gène dominant

Dominant par rapport à un allèle récessif

Gène récessif

Récessif par rapport à un allèle dominant.

Génie génétique Manipulations génétiques.

Génome

Ensemble des chromosomes contenus dans le noyau.

Génotype

Composition allélique d'un individu ou ensemble de facteurs héréditaires constitutionnels d'un organisme vivant.

GP-1, GP-2, GP-3, GP-4

Organisation de gene pool (ressources génétiques) en classes suivant le degré de compatibilité avec l'espèce botanique ou biologique.

Graine orthodoxe

Graine qui supporte ou tolère la dessiccation et qui peut être conservée à plus ou moins long terme dans des conditions précises de stockage incluant le séchage et le refroidissement.

Graine récalcitrante

Graine qui ne peut être séchée sans entraîner sa mort.

Guanine

Base purique s'associant avec la cytosine dans la double hélice d'ADN.

Haploïde (plante)

Résulte souvent du développement parthénogénétique de l'oosphère. Peut également se développer à partir de jeunes anthères ou de microspores. Ces individus seront monogénomiques possédant donc 1 x chromosomes.

Haplométhode

Méthodes permettant d'obtenir des individus haploïdes.

Hérédité (lois de 1')

Mécanismes qui président à la transmission des caractères héréditaires.

Hérédité ségrégative

Ou mendélienne.

Héritabilité

Contribution de la variance génétique à la variance totale.

Hermaphrodite (individu)

À la fois mâle et femelle.

Hétérochromatine

Partie du chromosome se colorant plus intensément que l'euchromatine (partie correspondant à une plus forte densité ou compacité de l'ADN).

2 Hétérogamie

Arrangement spatial des organes mâles et femelles sur le même plant empêchant ou limitant l'autofécondation en l'absence d'un insecte visiteur.

Hétéromorphique

Formes très différentes au sein d'une même espèce.

Hétérosis

Vigueur hybride.

Hétérostylie

Réalisé par des arrangements spatiaux différents du style en rapport avec l'androcée.

Hétérozygote

Se dit d'un être vivant ou d'un ou plusieurs de ses caractères dont les allèles sont différents.

Hétérozygotie

Combinaison hétérogène de caractères.

Hexaploïde

Individu à 6x chromosomes.

HGT (Horizontal Gene Transfer)

Transfert de matériel génétique par des marqueurs non sexuels entre organismes non-apparentés.

Homéologie (voir homologie)

Se dit de chromosomes homologues entre génomes différents.

Homologie

Se dit de deux ou plusieurs chromosomes morphologiquement et qualitativement semblables.

Homologie rémanente

Présence de segments homologues résiduels entre chromosomes de génomes différents.

Homomorphique

À morphologie florale identique.

Homozygote

Individu homogène pour ses caractères.

Homozygotie

Combinaison homogène des caractères.

Hybridation

Croisement de deux individus compatibles.

Hybridation intergénérique

Hybridation entre individus appartenant à des genres différents.

Hybridation interspécifique

Hybridation entre individus appartenant à des espèces différentes.

Hybridation intraspécifique

Hybridation entre variétés d'une même espèce.

Hybridation somatique

Fusion entre deux protoplastes de génotypes différents.

Hybride double

Hybride réalisé entre deux hybrides simples.

Hybride simple

Hybride réalisé entre deux lignées.

Hybride somatique

Fusion entre deux protoplastes, réalisée généralement à partir de cellules méristématiques en culture *in vitro*, dont les parois ont été détruites enzymatiquement.

Hypoxantine

Transformation de l'adénine par désamination.

Idéotype

Génotype considéré comme idéal et fixé comme objectif à atteindre.

Immunosuppresseur (synonyme de immunodépresseur)

Substance ou agent physique qui diminue les réactions immunitaires.

Inbreeding

Dépression par consanguinité, procédé de sélection favorisant la consanguinité.

Chez les plantes, il s'agit le plus souvent de cycles d'autofécondation.

Incompatibilité gamétophytique

Incompatibilité dépendant d'une série d'allèles (S1' S2' S3, ... Sn) dans un simple locus.

Incompatibilité hétéromorphique

Incompatibilité basée sur la différence de longueur entre les étamines et le style.

On appelle cela hétérostylie.

Incompatibilité homomorphique

Incompatibilité entre individus présentant une morphologie florale identique.

Incompatibilité sporophytique

Incompatibilité conditionnée par une série d'allèles dans un simple locus mais déterminée par le génome de la plante produisant le pollen.

Inflorescence

Mode de groupement de fleurs sur une plante.

Introgression

Défini par Anderson comme les études portant sur les communications génétiques entre espèces ou genres différents.

Introns

Séquences d'ADN situées à l'intérieur des gènes chez les eucaryotes mais qui ne participent pas au codage d'une protéine.

Inversion (d'un chromosome)

Lorsqu'après fragmentation un élément dissocié se soude à l'envers.

Isoenzyme

Marqueur enzymatique.

Isolement

Géographique ou sexuel pouvant mener à la spéciation.

4 **Kinétochore**

Structure du chromosome associé avec le centromère; cette structure participe au mouvement migratoire des chromosomes lors de la division cellulaire.

Lamarckisme

Doctrine soutenue par Lamarck selon laquelle les caractères acquis durant la vie sont transmis héréditairement à la descendance.

Lignée d'addition

Voir addition

Lignée de substitution

Lignée où une paire de chromosomes homéologues de l'espèce donneuse se substitue à une des paires de l'espèce receveuse.

Lignée pure

Descendance purifiée d'une plante autogame.

Ligule

Lame saillante que porte la feuille, chez les graminées, à la jonction du limbe et de la gaine.

Linkage

Arrangement préférentiel dans une zone chromosomique dont la persistance au cours des générations est favorisée (notamment par un faible taux de recombinaison ou crossing over).

Locus (pl. : loci)

Lieu où siège un gène sur un chromosome donné.

Manipulations génétiques

Opérations biologiques qui permettent de modifier artificiellement l'hérédité des êtres vivants.

Marqueurs moléculaires

Ensemble de techniques qui permettent d'identifier des gènes en les associant au comportement particulier de certains segments d'ADN, observé lors de la manipulation directe du matériel génique au moyen d'outils de la biologie moléculaire.

Mécanique évolutive

Différenciation à partir des premiers organismes des formes de vie très diverses qui peuplent actuellement le monde.

Meïose

Processus par lequel une cellule donne naissance à des cellules filles n'ayant que la moitié du nombre de chromosomes (cellules sexuelles).

Méristème

Tissu végétal formé de cellules indifférenciées, siège de divisions rapides et nombreuses, situé dans les régions de croissance de la plante.

Mésocarpe

Zone médiane d'un fruit.

5 Métaphase

Deuxième phase de la division cellulaire par mitose.

Microsatellite

Marqueur moléculaire.

Microspore

Cellule germinale femelle.

Microtubules

Elles constituent les fibres fusorales qui permettent l'ascension anaphasique lors de la division cellulaire.

Mitoclasique (produit)

Substance permettant d'empêcher la formation de fibres fusorales empêchant ainsi les lots de chromosomes de migrer vers les deux pôles.

Mitose

Étape du cycle vital d'une cellule eucaryote au cours de laquelle les jeux de chromosomes destinés aux cellules filles se séparent et la division de la cellule se réalise.

Mixoploïde

Cellule comprenant deux lots de chromosomes provenant de la non-ascension anaphasique de chromosome doublé par la mitose.

Monoïque dicline (plante)

Espèce portant des fleurs unisexuées mâles et femelles sur le même individu.

Morgan

Unité de mesure de la distance de deux gènes sur un même chromosome. Elle est égale au taux de recombinaison.

Multiplication générative

Multiplication par voie sexuelle.

Multiplication végétative

Multiplication non générative (boutures, greffes, marcottes, ...).

Mutagène

Qui provoque une mutation (produit, radiation, ...).

Mutagenèse

Apparition de mutations.

Mutation

Changement dans la structure du matériel génétique et qui est transmissible.

Mutation chromosomique

Changement de la structure ou du nombre de chromosomes.

Mutation génique

Mutation due à un changement dans la structure d'un gène.

Mutation germinale

Mutation touchant les cellules qui sont à l'origine des gamètes et qui peuvent donc passer à la génération suivante.

Mutation ponctuelle (ou génique)

Remaniement simple à l'intérieur d'une chaîne d'ADN.

Mutation non-sens

Mutation qui change un codon en un triplet de bases ne spécifiant aucun acide aminé. Les triplets appelés codons non-sens sont UGA, UAA et UAG.

Mutation somatique

Mutation ne pouvant pas se transmettre à la descendance car survenant au niveau d'une cellule végétative somatique.

Nucléotide

Composé d'un groupement phosphate, d'un sucre (de type désoxyribose) et d'une base (adénine, guanine, cytosine ou thymine).

Opercule

Couvercle naturel.

Opine

Substance de croissance spécifique.

Organogenèse

Formation et développement des organes au sein d'un être vivant.

Orthodoxe (voir plante orthodoxe)**Orthotrope** (ovule)

Type d'ovule chez qui le micropyle est situé du côté de la chalaze et du placenta.

Ovule anatrophe (voir anatrophe)**Paire homéologue**

Appariement de deux chromosomes analogues mais présentant certains gènes de nature différente.

Parc à bois

Installation permettant la multiplication végétative à grande échelle de certaines plantes pérennes cultivées.

Parthénocarpie

Développement d'un fruit sans pollinisation du stigmate et sans formation d'embryon.

Parthénocarpique (fruit)

Fruit obtenu sans pollinisation et sans formation d'embryon.

Parthénogenèse

Développement en **un** embryon de l'oosphère non fécondée.

Pedigree (sélection)

Sélection généalogique avec analyse des descendance.

Pentaploïde

Individu à 5x chromosomes.

Périanthe

Ensemble des enveloppes florales qui entourent les étamines et le pistil.

Phanérogame

Végétal se reproduisant par des fleurs et des graines.

Phénotype

Manifestations externes d'un génotype spécifique.

Phyllotaxie

Disposition des feuilles sur la tige.

Plagiotropie

Croissance horizontale des rameaux.

Plasmide

Petite molécule d'ADN circulaire qui se réplique dans une bactérie indépendamment du chromosome bactérien.

Plante orthodoxe

Plante dont les semences peuvent être conservées pendant des périodes plus ou moins longues en abaissant leur teneur en eau.

Plante récalcitrante

Plante dont les semences ne peuvent être conservées que quelques jours ou quelques semaines car une réduction de leur teneur en eau au delà d'un seuil relativement élevé entraîne leur mort.

Plasmalemme

Constituant de la cellule végétale qui s'appuie par tonicité sur la paroi pecto-cellulosique.

Polygénique

Se dit d'un caractère induit par plusieurs gènes situés sur des loci différents.

Polymorphisme génotypique

Existence au sein d'une même population de plusieurs types au niveau du génotype.

Poly{loïdie

Etat d'un noyau de cellule contenant plus de 2 génomes (2x chromosomes).

Polysonie

Mutation génomique qui se caractérise par la présence de chromosomes extra ou de copies supplémentaires de chromosomes appartenant au stock chromosomique de l'individu ($2n+1$, $2n+2$, ...).

Population synthétique (de maïs)

Dans son sens le plus large, elle est constituée de lignées qui ont été choisies et sélectionnées pour leur aptitude à la combinaison et pour leur complémentarité agronomique; dans un sens plus restrictif, c'est un mélange d'hybrides doubles réalisés à partir des différentes lignées qui entrent dans la population.

Protandrie

Émission de pollen avant la réceptivité du stigmate de la même fleur.

Protéine

Molécule biologique formée d'acides aminés attachés les uns aux autres en une chaîne.

8 Protogynie

Emission de pollen après la réceptivité des stigmates de la même fleur.

Protoplaste

Unité cellulaire dénudée dont la membrane prend une forme sphérique.

RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA)

Marqueur moléculaire.

Race

Échelon de classification infraspécifique.

Récalcitrante (voir plante récalcitrante)

Récessif (caractère)

Ne se manifeste qu'en l'absence du gène contraire dit dominant.

Réplication semi-conservative

Fornée d'un brin parental de la double hélice d'ADN et d'un brin néosynthétisé.

Résistance digénique

Résistance induite par une hérédité intermédiaire entre celles mono- et polygéniques.

Résistance horizontale

Résistance imparfaite mais en principe permanente. Elle dépend de gènes multiples.

Résistance monogénique

Résistance gouvernée par un seul gène.

Résistance oligogénique

Résistance induite par une hérédité intermédiaire entre la monogénique et la polygénique. Ce sont généralement des résistances digéniques ou trigéniques.

Résistance polygénique

Résistance conférée par de trop nombreux gènes pour qu'on puisse les compter et les identifier individuellement.

Résistance verticale

Résistance totale mais éphémère; elle implique une relation génique directe entre hôte et parasite.

Rétrocroisement

Ou croisement de retour ou back-cross, permet d'apporter à une lignée récurrente un ou deux caractères simples appartenant à une lignée donneuse.

RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism)

Marqueur moléculaire.

Ribosomes

Microparticules au sein du cytoplasme, formées d'ARN et de protéines et dans lesquelles l'ARN messager est traduit en protéines.

Ségrégation transgressive

Descendance possédant un ou plusieurs caractères dont la valeur est supérieure à la plus élevée ou inférieure à la plus basse de celle qu'on rencontre chez les géniteurs.

9 Sélection généalogique

Sélection basée sur un choix d'individus dont la valeur est basée sur la valeur de sa descendance.

Sélection massale

Sélection basée sur la seule valeur phénotypique des géniteurs retenus.

Sélection naturelle

Processus par lequel s'améliore l'adaptation d'une population à son environnement.

Sélection récurrente

Méthode de sélection à plusieurs variantes, basée sur des cycles successifs ajoutant leurs effets et portant sur des individus d'une population, sur des lignées ou sur des descendances d'hybrides. Chaque cycle comprend une phase de recombinaison (intercroisements) et de sélection.

Sélection récurrente ou cumulative

Permet après quelques cycles (recombinaison et sélection) d'augmenter la fréquence des gènes intéressants.

Sélection récurrente réciproque

Méthode qui consiste à sélectionner deux populations pour leur aptitude mutuelle à la combinaison.

Sélection récurrente simple

Méthode où les plantes à éliminer ou à conserver pour le cycle suivant sont choisies d'après leur phénotype.

Série homologue

Appariement de plusieurs chromosomes morphologiquement et qualitativement semblables.

Série polyallélique

Structures différentes du gène (plus de deux allèles par gène).

Sous-espèce

Échelon de classification infraspécifique.

Spadice

Inflorescence constituée par un épi enveloppé dans une bractée appelée spathe.

Spathe

Bractée entourant l'épi dans les spadices.

Spéciation

Processus de différenciation d'une espèce à une autre impliquant généralement un isolement génétique avec des modifications entraînant à la longue au cours de l'évolution une incompatibilité génétique. Ce processus survient souvent suite à une modification écologique ou suite à des remaniements chromosomiques.

Sporophyte

V végétal issu d'un œuf fécondé et qui à maturité porte des spores.

Stérilité mâle

Stérilité des gamètes mâles.

1 Vitro-variations

Variabilité obtenue dans des cultures *in vitro* lors de la phase non morphogène

Xénie

Apparition sur un pied femelle d'une plante allogame de grains dont l'albumen de nature triploïde et influencé par le parent mâle apparaît au travers de téguments incolores (cas du maïs).

Zygomorphe

Se dit de fleurs qui présentent une symétrie bilatérale, principalement marquée sur la corolle.

Zygote

Cellule résultant d'une fécondation de l'ovule avec un noyau génératif du gamétophyte mâle.